

ANÁLISIS DE PÉRDIDAS TÉCNICAS EN REDES DE DISTRIBUCIÓN SECUNDARIAS

**Daniela Giraldo Barco
María Victoria León Romero**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Electricista**

**Pereira, enero de 2019
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Programa de Ingeniería Eléctrica.**

AGRADECIMIENTOS

- Daniela Giraldo Barco

Primero que todo, le agradezco a mis padres por el apoyo incondicional que me han brindado durante toda la vida. Gracias por todo papá y mamá, por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor.

A mi compañera de trabajo María Victoria León Romero por su empeño y dedicación para el desarrollo de este trabajo.

También agradezco al profesor Oscar Gómez Carmona por su ayuda y colaboración para la realización de este proyecto de grado.

- María Victoria León Romero

Principalmente a Dios por la vida, salud y la maravillosa oportunidad que me ha dado de estudiar y culminar esta etapa de mi vida, a mi madre por su confianza, esmero, amor y apoyo incondicional en todo lo que emprendo, a mi tío por creer en mí y apoyarme siempre, a mi familia por su apoyo y confianza, a mi amigo Luis Carlos Cubides por siempre haber estado ahí en los momentos de incertidumbre y dificultad al realizar este proyecto, a mis amigos y profesores muchas gracias por todo durante todo este proceso y al profesor Oscar Gómez director de este proyecto de grado muchas gracias por su guía, apoyo y el aporte de sus conocimientos y experiencia para culminar este proceso.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento de problema	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo general.....	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
2. DIGSILENT POWER FACTORY	5
3. CÁLCULO DE PÉRDIDAS TÉCNICAS EN DIGSILENT POWER-FACTORY. 8	
3.1 Ingreso de datos.....	10
3.1.1 Cargas.....	10
3.1.2 Barras y terminales.....	16
3.1.3 Líneas.....	16
3.1.4 Transformador.	19
3.2 Cálculo de flujo de cargas.....	20
3.3 Informes o report.....	22
3.4 Programación en DPL.....	23
3.4.1 Cómo se diseña el comando DPL	23
3.4.2 Comando DPL	31
4. CASOS DE PRUEBA Y RESULTADOS	33
4.1 Flujo de carga balanceado con modelo de carga en potencia constante	34
4.2 Flujo de carga balanceado con modelo de carga en impedancia constante	35
4.3 Flujo de carga desbalanceado con modelo de carga en potencia constante	37
4.4 Flujo de carga desbalanceado con modelo de carga en impedancia constante.....	38
4.5 Flujo de carga desbalanceado con modelo de carga en impedancia constante con carga según facturación.....	39
4.6 Análisis de resultados.....	40
4.7 Variante en ingreso de parámetros de las líneas	41
5. CONCLUSIONES	42
6. ANEXO	45
BIBLIOGRAFÍA	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de un comando DPL.	6
Figura 2. Creación de un nuevo proyecto.....	8
Figura 3. Ventana para la creación de un nuevo proyecto.	8
Figura 4. Ventana de edición de la red.....	9
Figura 5. Ventana principal.....	9
Figura 6. Barra de herramientas de dibujo.	10
Figura 7. Creación del tipo de carga.....	11
Figura 8. Selección del tipo de carga de la base de datos creada por el usuario.	11
Figura 9. Pestaña de flujo de cargas en la ventana de características de las cargas.	12
Figura 10. Librería de tipos de carga.....	13
Figura 11. Configuración del modelo de las cargas según el caso a analizar.	13
Figura 12. Configuración de modelo de carga en Potencia constante.	14
Figura 13. Configuración de modelo de carga en Impedancia constante.....	14
Figura 14. Selección de número de fases para la carga.	15
Figura 15. Asignación de fases a la carga al correr el flujo de carga.	15
Figura 16. Configuración de terminales según el número de fases.....	16
Figura 17. Ventana de características de las líneas.....	17
Figura 18. Creación de un tipo de línea.....	17
Figura 19. Ingreso datos de línea.....	18
Figura 20. Configuración de la línea.....	18
Figura 21. Selección del faseo de la línea.....	19
Figura 22. Error al ejecutar el flujo de carga por incoherencias en faseo.....	19
Figura 23. Ventana de características de los transformadores.....	20
Figura 24. Ventana de cálculo del flujo de cargas.....	21
Figura 25. Ventana de obtención de informes.....	22
Figura 26. Informe de flujo de cargas.....	23
Figura 27. Pasos iniciales para la creación del archivo DPL.....	24
Figura 28. Selección del elemento a crear.....	25
Figura 29. Ventana creada DPL command.....	26
Figura 30. Script en DPL Command.....	26

Figura 31. Creación de matrices para ingreso de datos de curva.	27
Figura 32. Selección de opción matrices para la creación de tablas.	27
Figura 33. Ingreso de número de columnas y filas.	28
Figura 34. Tablas para las simulaciones ejecutadas durante el proyecto.	29
Figura 35. Tabla de potencia.	29
Figura 36. Menú para verificación de elementos.	30
Figura 37. Listado de orden de posicionamiento de las cargas.	30
Figura 38. Sistema de prueba implementado.	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultado de pérdidas con modelo de carga de potencia constante y flujo de carga balanceado.....	35
Tabla 2. Resultado de pérdidas con modelo de carga de impedancia constante y flujo de carga balanceado.	36
Tabla 3. Resultado de pérdidas con modelo de carga de potencia constante y flujo de carga desbalanceado.	37
Tabla 4. Resultado de pérdidas con modelo de carga de impedancia constante y flujo de carga desbalanceado.....	38
Tabla 5. Resultado de pérdidas con modelo de carga de impedancia constante, flujo de carga desbalanceado y curva de carga obtenida de la repartición de potencia según la facturación de los usuarios.....	40
Tabla 6. Comparación entre casos de prueba que consideran curva de carga conocida en los usuarios.	40
Tabla 7. Comparación entre resultados de pérdidas en la hora pico del caso DESBAL ZCTE y DESB_ZCTE_FACTURACIÓN.	41
Tabla 8. Resultados de pérdidas para la hora 19 utilizando y sin utilizar los valores de secuencia cero en las líneas.	41

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas eléctricos de potencia comprenden diversos elementos que permiten cumplir con labores de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. La distribución es el eslabón final de la cadena de suministro de energía ya que permite llevar la energía hasta el usuario final mediante la red de distribución, la cual se caracteriza por transportar energía a menor voltaje hasta el consumidor.

Las redes de distribución pueden clasificarse como redes primarias o de nivel 2 y redes secundarias o de nivel 1. Las redes secundarias o de nivel 1 parten su recorrido desde los bornes del lado de baja tensión de los transformadores de distribución hasta el usuario final, el cual es clasificado dependiendo su ubicación geográfica, tensión nominal, tipo de carga o su confiabilidad.

En estas redes se destacan los transformadores como uno de los elementos más importantes de su composición, dado que permite la reducción de tensión al nivel requerido por el usuario final. Por su parte, el usuario final, es el encargado de dar la dinámica a la curva de carga del transformador de distribución, y aunque es posible medir la curva de carga del transformador, esta demanda incluye las pérdidas producidas en los diferentes elementos que hacen parte de la red secundaria y no a la potencia puntual demandada por el conjunto de usuarios.

Los agentes encargados del sistema deben garantizar un servicio eficiente y confiable al usuario, es por esto que se hace tan importante hacer frente a problemas centrales, entre ellos las pérdidas técnicas y no técnicas o más comúnmente llamadas pérdidas negras en el sistema.

Las empresas del sector eléctrico deben conocer sus niveles de pérdidas porque estas deben mantener unos niveles mínimos dentro de los estándares de calidad que se definen en la regulación del sector, además, mantenerlos en dichos niveles ahorra en gastos, es por ello, que se realizan estudios para calcular las pérdidas de un sistema eléctrico, usualmente se ejecutan flujos de carga que permiten conocer el estado de un sistema junto con todos sus parámetros, entre ellos, las pérdidas.

Para ejecutar un flujo de carga, es necesario conocer la potencia que consumen las cargas (usuario final) para cada instante del día. Sin embargo, este proceso posee inconvenientes, ya que implica un manejo elevado de información por cada circuito secundario, por otro lado, los datos obtenidos de las mediciones realizadas por la empresa prestadora del servicio en su mayoría están dados en energía demandada en un intervalo de tiempo y no la cantidad de potencia demandada en un momento puntual, es por ello que se realizan estudios como el que se muestra en este documento para tener una representación aproximada y confiable de un sistema eléctrico.

1.1 Planteamiento de problema

Se considera que hay pérdidas de energía cuando existen diferencias entre la energía que es comprada y la que es vendida, estas a su vez se clasifican en pérdidas técnicas y pérdidas no técnicas.

Las pérdidas técnicas están definidas principalmente por la energía perdida durante el transporte y distribución de la energía por la red, lo cual tiene como principal causa el calentamiento de las líneas y transformadores ubicados entre las centrales de generación y el usuario final debido a la resistencia eléctrica que presentan al flujo de la corriente. Las empresas distribuidoras de energía siempre deben tener en cuenta esta proporción de energía perdida, y aunque es algo que no puede eliminarse en su totalidad, las empresas hacen esfuerzos por implementar estrategias que les permitan reducirlas. Las pérdidas no técnicas por su parte obedecen principalmente a la conexión del servicio de forma ilegal por parte de los usuarios o a errores técnicos.

La CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas), al implementar la resolución 015 de 2018 determina la metodología de remuneración para los distribuidores de energía, en la cual se establece que estos deben invertir recursos con el fin de mejorar la calidad del servicio prestado a los usuarios, mediante la modernización de equipos y la disminución de pérdidas que se presentan en el sistema. Teniendo en cuenta que las pérdidas en su mayoría son técnicas, los operadores de red invierten esfuerzos para la disminución de estas, realizando estudios que permitan determinar su porcentaje en el sistema y de este modo realizar acciones que permitan su reducción.

Para determinar las pérdidas técnicas en los sistemas de distribución se implementan flujos de carga con el fin de obtener la corriente que circula por los conductores, lo que implica conocer la demanda de potencia de cada usuario. No obstante, estos valores de potencia no son un dato conocido dado que las empresas de distribución obtienen los datos de la energía consumida mediante macromedidores en los transformadores de distribución, o la facturación del usuario mediante el contador de energía y no los valores de potencia demandada.

A causa de esto, con el presente trabajo de investigación se pretende realizar el cálculo de pérdidas técnicas mediante el uso de software comercial en redes de nivel uno o redes secundarias, ajustando la metodología a lo indicado por la normatividad vigente, teniendo en cuenta que la empresa no cuenta con los valores de potencia demandada por el usuario.

Para obtener las pérdidas técnicas se simula un circuito secundario el cual cuenta con todos los datos que deberían conocerse para luego comparar los resultados con una simulación que emplee la información con la que normalmente cuentan las empresas distribuidoras, permitiendo entonces determinar el error introducido en el cálculo de las pérdidas técnicas al simular un sistema que cuenta con poca información.

Existen diversas herramientas informáticas que permiten realizar el análisis de los sistemas de potencia, para efectos del presente proyecto se utilizará el software DigSilent Power-Factory, con el cual se realizarán las pruebas propuestas a continuación:

- Cálculo de pérdidas técnicas simulando el sistema en forma balanceada y conociendo el valor de P y Q en las cargas. Se simulará con la demanda máxima de cada carga en Potencia constante e Impedancia constante.
- Cálculo de pérdidas técnicas simulando el sistema en forma desbalanceada y conociendo el valor de P y Q en las cargas. Se simulará con la demanda máxima de cada carga en Potencia constante e Impedancia constante.
- Se calcularán las pérdidas utilizando una curva de carga horaria y se compararán los resultados con los obtenidos en los casos anteriores. Se simularán los casos balanceado y desbalanceado en Potencia constante e Impedancia constante.
- Se asumirá que no es conocido el valor de las cargas, por lo tanto, se colocará la carga en la cabecera y se repartirá proporcionalmente de acuerdo a la facturación de cada usuario. Se simularán los casos balanceado y desbalanceado en Potencia constante e Impedancia constante.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Calcular las pérdidas técnicas en sistemas de distribución secundaria mediante el software Digsilent Power Factory, con los datos proporcionados por la empresa distribuidora de energía.

1.2.2 Objetivos específicos

- Comprender el funcionamiento del software DigSilent Power Factory para así utilizar la herramienta de forma adecuada, entregando resultados correctos y confiables.
- Analizar las pérdidas técnicas que se dan en el sistema para una red de nivel 1, teniendo la información de los parámetros de la potencia de las cargas.
- Analizar las pérdidas técnicas que se dan en el sistema para una red de nivel 1, contando con la curva de carga horaria.
- Analizar las pérdidas técnicas repartiendo la carga con base a la facturación de los usuarios para una red de nivel 1.

- Analizar los resultados obtenidos al realizar cada prueba y con base a esto determinar bajo qué caso y condiciones el sistema simulado presenta un mayor nivel de pérdidas.

2. DIGSILENT POWER FACTORY

La naturaleza actual de los sistemas eléctricos de potencia es de estructura compleja y está formada por miles de elementos: generadores, transformadores, líneas, cargas etc., cada uno de los cuales tiene asociado elementos de medición, control, entre otros. A futuro, la complejidad y las dimensiones de los problemas asociados a los sistemas eléctricos de potencia aumentará. En tal sentido, los análisis de estos sistemas tan amplios requieren de herramientas especializadas como DIgSILENT Power Factory para acometer en forma adecuada los estudios que la planificación y operación de sistemas de potencia requiere.

DIgSILENT Power Factory es una herramienta diseñada y desarrollada por ingenieros con experiencia tanto en el análisis de sistemas de potencia como en el campo de la programación. La precisión y validez de los resultados obtenidos con este paquete han sido confirmados en un gran número de implementaciones por organizaciones involucradas en la planificación y operación de sistemas de potencia.

Power Factory es una aplicación líder de software de análisis de sistemas de energía para uso en análisis de generación, transmisión, distribución y sistemas industriales. Cubre toda la gama de funciones, desde funciones estándar hasta aplicaciones altamente sofisticadas y avanzadas, que incluyen energía eólica, generación distribuida, simulación en tiempo real y supervisión del rendimiento para pruebas y supervisión de sistemas. Power Factory es amigable con el usuario, totalmente compatible con Windows y combina capacidades de modelado de sistemas confiables y flexibles con algoritmos de última generación y un concepto de base de datos único. Además, con su flexibilidad para crear scripts (escritos) e interfaces, Power Factory se adapta perfectamente a soluciones altamente automatizadas e integradas en sus aplicaciones empresariales.

Con el uso de una sola base de datos, la cual contiene todos los datos necesarios para todas las piezas de equipo dentro de un sistema de potencia (por ejemplo, datos de línea, datos de protección, datos de armónicos, datos de controladores, etc.), DIgSILENT permite la ejecución de todas las funciones disponibles dentro del mismo ambiente del programa con facilidad. Algunas de esas funciones son el flujo de potencia, el cortocircuito y el análisis de armónicos, así como también la coordinación de protecciones, cálculos de estabilidad y análisis nodal.

Uno de los más comunes procedimientos computacionales usados en el análisis de sistemas de potencia es el cálculo flujo de cargas. La planificación, diseño y operación de los sistemas de potencia requieren de tales cálculos para analizar el desempeño en régimen estacionario del sistema de potencia bajo diferentes condiciones de operación.

La mayor parte de los sistemas de transmisión son balanceados y una representación monofásica de la red puede ser usada en este caso. Sin embargo, en sistemas de

distribución, el sistema no es balanceado, lo cual requiere de una representación trifásica de la red. El módulo de flujo de carga que del software DigSilent Power-Factor ofrece ambos cálculos.

DigSilent utiliza un método sofisticado combinado con el método de Newton Raphson para garantizar que el flujo de carga siempre converja. En una configuración de un sistema de potencia donde no exista solución, el algoritmo de flujo de carga trata de adaptar las características de los modelos de tal manera que la solución, la cual todavía mantiene la ley de corrientes de Kirchhoff, pueda ser encontrada. Esta adaptación es hecha usando los modelos de niveles predefinidos, en este caso para el nivel 1, todas las cargas se hacen dependientes de la tensión.

Por otra parte, DlgSILENT tiene un lenguaje de programación de propósito general usado para automatizar procesos y cálculos dentro de un proyecto, permitiendo al usuario la creación de nuevas funciones de cálculo, en todas las áreas de análisis de un Sistema Eléctrico de Potencia. La filosofía de este lenguaje de programación se basa en:

- Brindar acceso a todos los valores de entrada y salida.
- Hacer uso de todos los comandos de cálculo.
- Brindar acceso a archivos de resultados, gráficas, bases de datos.
- Permitir exportación de archivos.
- Programación orientada a objetos.

En el código de DPL (DIgSILENT Programming Language) se definen las entradas, las cuales pueden ser objetos que se encuentren en la base de datos, esta selección se denomina “Selección general”. La información de entrada puede ser evaluada con la utilización de funciones y variables internas almacenadas en el código fuente. En la Figura 1 se muestra la estructura de un comando DPL.

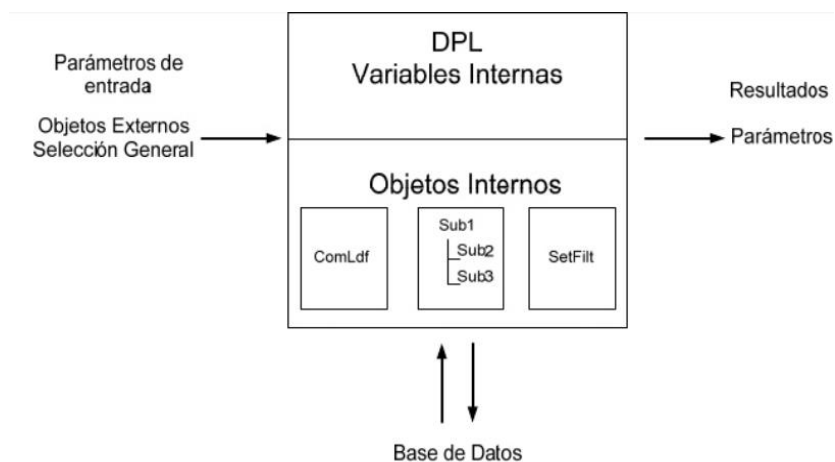


Figura 1. Estructura de un comando DPL.

Los objetos internos más comunes que se pueden encontrar dentro de un DPL son:

- Comandos como: Flujo de potencia (ComLdf), ejecutar simulación (ComSim), cálculo de corto circuito (ComShc), etc.; los cuales son definidos para ejecutar ciertas opciones de cálculos.
- Filtros de los diferentes objetos que maneja DIgSILENT, por ejemplo: generadores, líneas, barras, transformadores, relés, fusibles, entre otros, los mismos que se pueden ejecutar en el código fuente del DPL.
- Subrutinas que permiten ser manipuladas.

Un código DPL permite realizar acciones e inicializar funciones de cálculos disponibles en DIgSILENT. El escrito (código) del DPL se comunica directamente con la base de datos del programa para almacenar la nueva configuración o información que se encuentra al ejecutar el DPL. El DPL permite la manipulación de la de los objetos disponibles en DIgSILENT, brindando así la facilidad de crear escritos que automaticen tareas repetitivas que manualmente requieren de mucho tiempo. Cuando se ejecuta un DPL, los resultados pueden ser exportados en diferentes formatos para analizar y manipular, según sean las necesidades del usuario.

3. CÁLCULO DE PÉRDIDAS TÉCNICAS EN DIGSILENT POWER-FACTORY

Para comenzar a trabajar en el software DigSilent Power-Factor se debe crear un nuevo proyecto dando clic en la opción “FILE” que se encuentra ubicado en la parte superior izquierda de la barra de herramientas, seguido de esto se debe dar clic en la opción “new” y después la opción “Project” (figura 2), donde aparecerá la ventana de la figura 3. En esta ventana se tiene la opción de indicar en cual directorio se quiere tener el nuevo proyecto y también se pueden agregar datos al directorio.

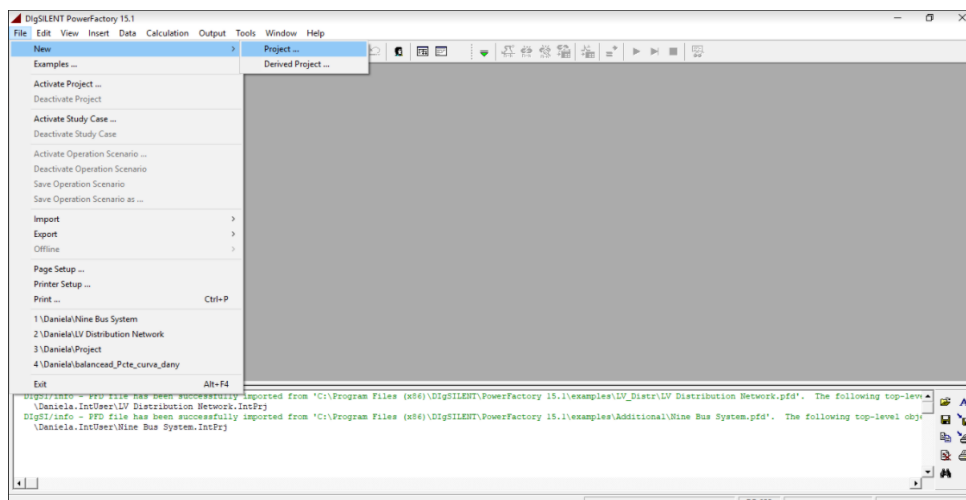


Figura 2. Creación de un nuevo proyecto.

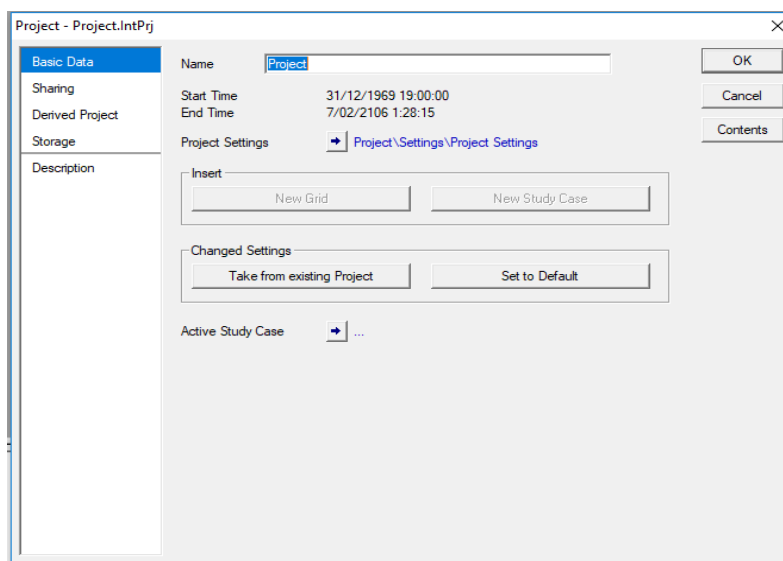


Figura 3. Ventana para la creación de un nuevo proyecto.

Cuando se da clic en “ok” en la ventana de creación de nuevo proyecto (figura 3), aparece una segunda ventana (figura 4) donde se debe indicar el nombre del proyecto y la frecuencia eléctrica de la red que se acaba de crear.

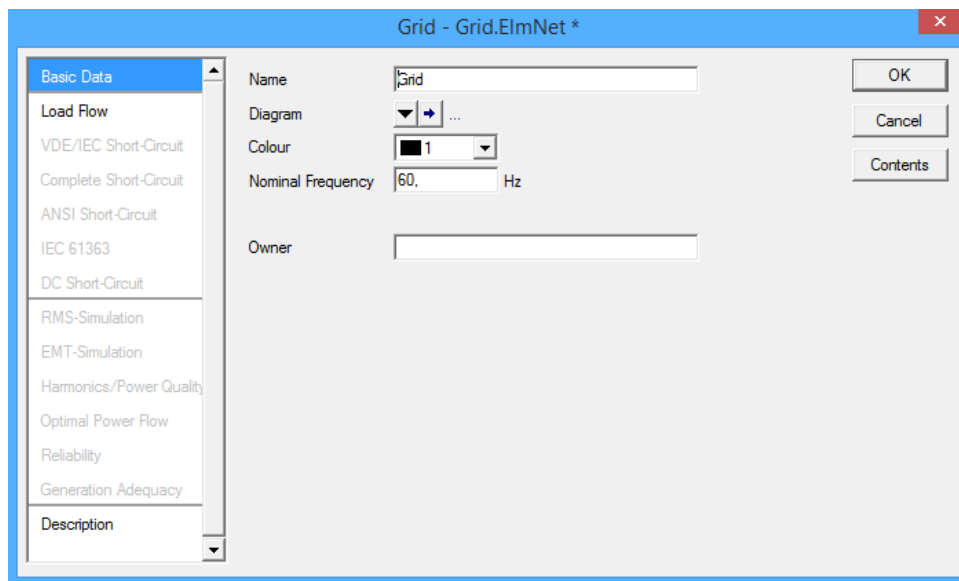


Figura 4. Ventana de edición de la red.

Luego de presionar nuevamente “ok”, aparece la ventana de trabajo o ventana principal que se muestra en la figura 5.

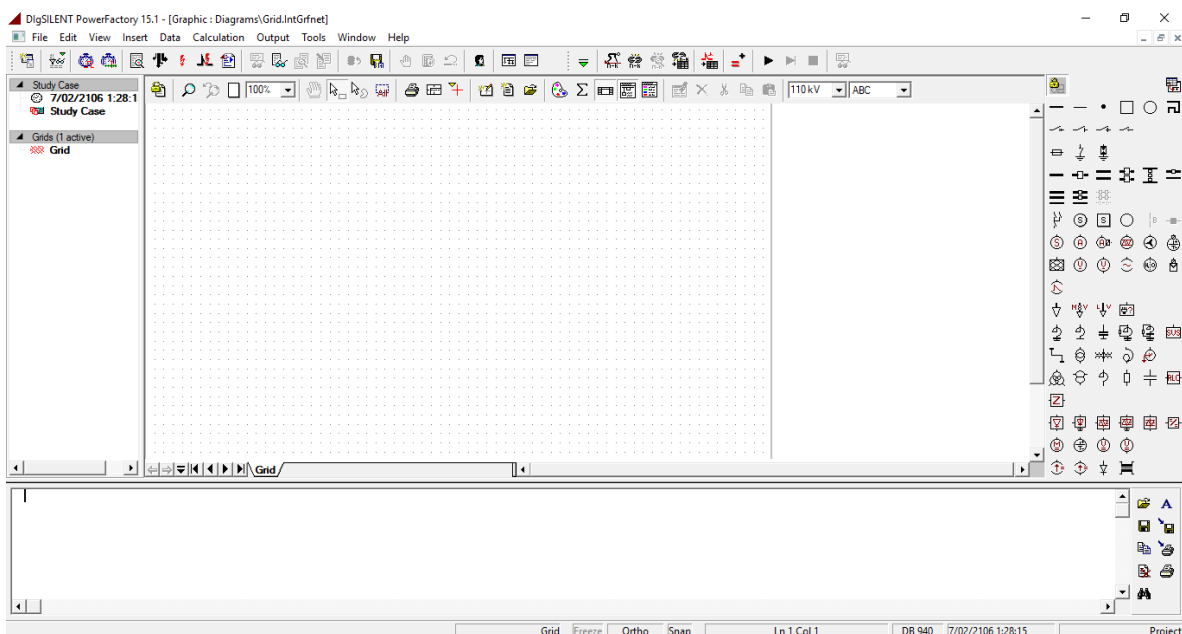


Figura 5. Ventana principal.

En esta ventana se muestran los elementos necesarios para crear la red, estos elementos se dibujan usando la barra de herramientas de dibujo (Figura 6) que aparece en la parte derecha de la ventana de trabajo de Power-Factory.

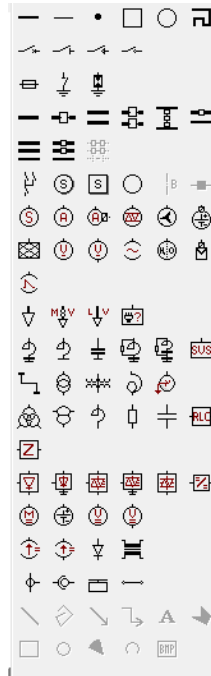


Figura 6. Barra de herramientas de dibujo.

3.1 Ingreso de datos

Cada elemento de la red tiene una información interna, para poder tener acceso a ella o modificarla se debe hacer doble clic sobre el elemento. Aunque Power-Factory ofrece gran cantidad de cálculos y existen muchas variables en cada uno de los elementos, en este capítulo solo se hará énfasis en aquellas variables más relevantes para los cálculos realizados en este proyecto.

A continuación, se describe brevemente cada uno de los elementos utilizados para la realización de este proyecto.

3.1.1 Cargas.

Para el presente proyecto se implementa la carga “General load” la cual permite seleccionar si la carga es balanceada o desbalanceada, tiene como ventaja la flexibilidad para el ingreso de los datos mostrando diversas opciones al usuario.

En este tipo de cargas se usan las siguientes dos pestañas:

- Basic Data (Figura 7): allí aparece el nombre de la carga, el tipo de carga dentro de la librería (residencial, comercial o industrial) y el terminal al que pertenece.

El tipo de carga de la librería debe crearlo el usuario y debe indicar el número de fases, por lo tanto, debe haber coincidencia con el número de fases de la línea y de la barra o nodo, en la figura 7 se muestra como al crear una carga puede crearse un nuevo tipo de carga, mientras que en la figura 8 se muestra como al crear una nueva carga puede seleccionarse un tipo de carga ya existente.

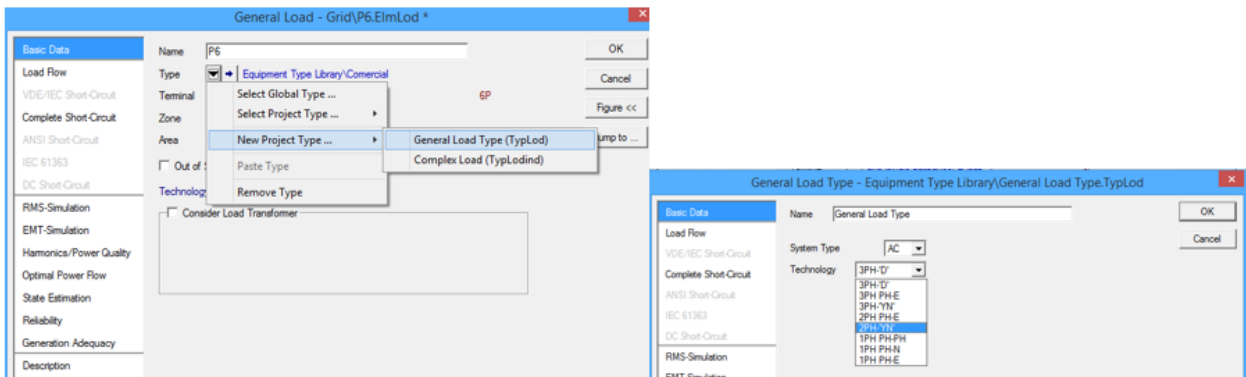


Figura 7. Creación del tipo de carga.

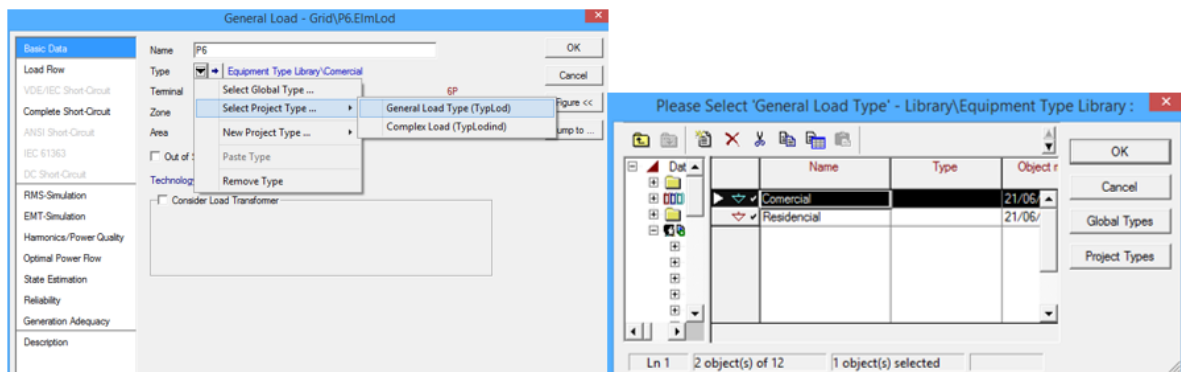


Figura 8. Selección del tipo de carga de la base de datos creada por el usuario.

- Load Flow: (Figura 9): en “Input mode” existe un desplegable en el que se elige los datos a introducir a las cargas: potencia activa y reactiva, potencia activa y factor de potencia, potencia aparente y factor de potencia, etc. En función de esto cambiarán los datos a introducir en “Operating point” menos la tensión y el factor de demanda. En este proyecto se usan potencia activa y factor de potencia como muestra la Figura 9. También se tiene la opción de indicar si la carga será balanceada o desbalanceada.

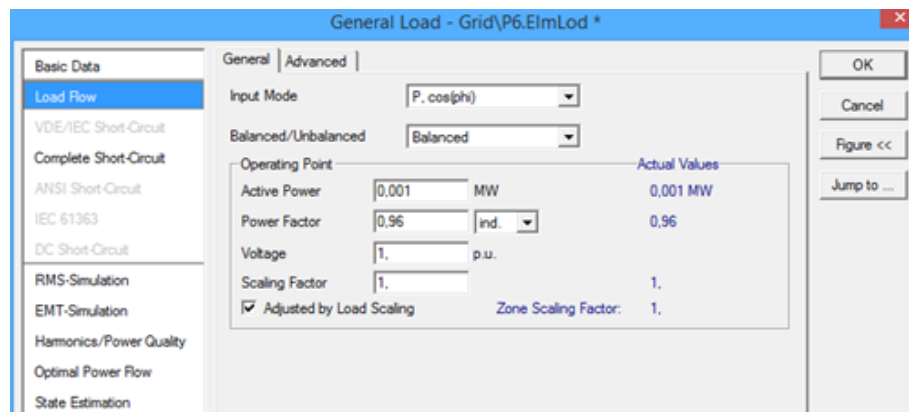


Figura 9. Pestaña de flujo de cargas en la ventana de características de las cargas.

La carga se puede modelar de diferentes maneras, como impedancia constante, corriente constante o potencia constante.

El modelo de carga de potencia constante es principalmente utilizado en el cálculo del flujo de carga, y es adecuado para el análisis de red desde media hasta alta tensión, pero no para redes de baja tensión, ya que la potencia de la carga depende de la variación de voltaje.

Para cargas de baja tensión, como equipos de iluminación o electrodomésticos, se requiere un modelo de carga de impedancia constante que cambia proporcionalmente al cuadrado de las tensiones. No todos los modelos de carga individual cubren todos los aspectos de la carga del consumidor para un análisis detallado.

Se debe tener en cuenta que esta selección del modelo de carga (Potencia constante o Impedancia constante) es importante para el análisis de pérdidas técnicas, y que entre las cargas que ofrece el programa, solo la carga “General Load” tiene en cuenta este aspecto.

Luego de asignar a todas las cargas del sistema su respectivo tipo de carga (residencial, comercial, etc.), se puede modificar todas las cargas ingresando a la librería de los tipos de cargas creados figura 10, posteriormente se edita el tipo de carga como se muestra en la figura 11.

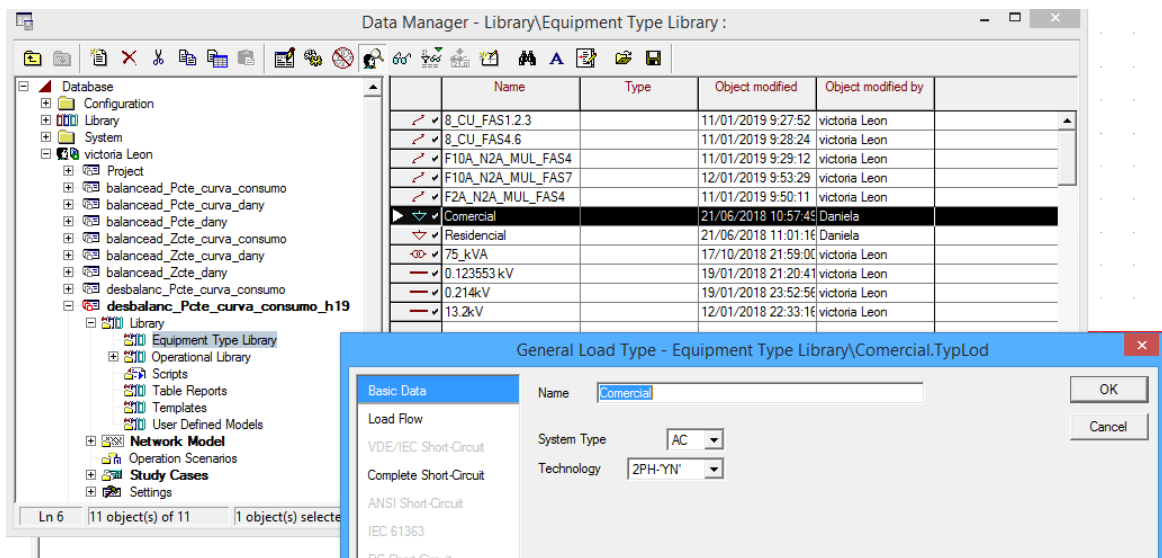


Figura 10. Librería de tipos de carga.

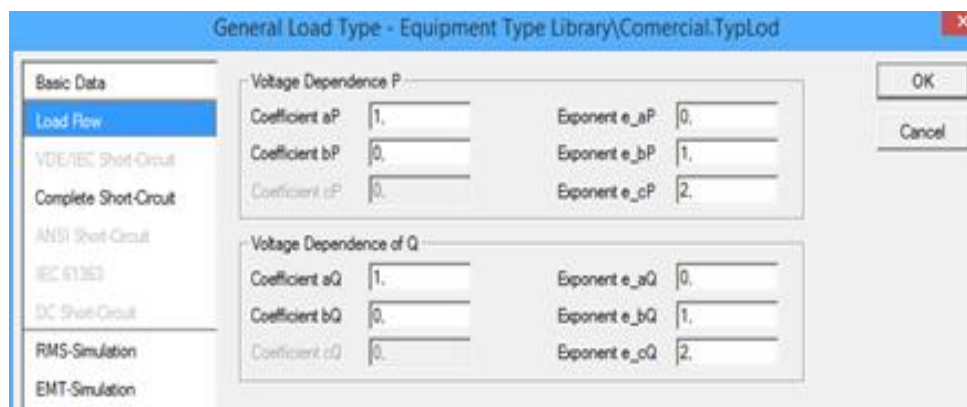


Figura 11. Configuración del modelo de las cargas según el caso a analizar.

Para efectos del presente proyecto, las pruebas se realizan para el caso de un modelo de carga de potencia constante o impedancia constante, es por esto por lo que debe tenerse en cuenta que todos los tipos de carga deben tener la misma configuración según sea el caso de estudio y esta configuración se realiza desde la librería de los tipos de carga como se mostró en las dos figuras anteriores.

Si para el caso de estudio el modelo de las cargas debe ser en potencia constante, la configuración de las cargas debe ser el implementado como se muestra en la figura 12, si por el contrario es en impedancia constante, se define como se muestra en la figura 13.

Figura 12. Configuración de modelo de carga en Potencia constante.

Figura 13. Configuración de modelo de carga en Impedancia constante.

El modelo de carga general para el cálculo del flujo de carga se define de acuerdo con las ecuaciones (1) y (2) que se muestran a continuación, estas ecuaciones muestran la potencia activa y reactiva en cualquier instante de tiempo dependientes del voltaje para el mismo instante de tiempo.

$$P = P_0 \left(a_P \left(\frac{v}{v_0} \right)^{e_{a1}} + b_P \left(\frac{v}{v_0} \right)^{e_{b1}} + (1 - a_P - b_P) * \left(\frac{v}{v_0} \right)^{e_{c1}} \right) \quad (1)$$

$$Q = Q_0 \left(a_Q \left(\frac{v}{v_0} \right)^{e_{a2}} + b_Q \left(\frac{v}{v_0} \right)^{e_{b2}} + (1 - a_Q - b_Q) * \left(\frac{v}{v_0} \right)^{e_{c2}} \right) \quad (2)$$

Las variables se establecen dependiendo de la característica que se necesite modelar, un exponente establecido en cero significa potencia constante, establecido en uno significa corriente constante y ajustando el exponente a dos medios de impedancia constante.

La asignación de fases en los tramos de línea se realiza en las líneas y nodos. Allí se puede seleccionar e identificar que fases operan, por su parte en las cargas solo se indica cuantas fases van a operar mediante el tipo de carga (Comercial o residencial) creado en

la librería de tipos de carga (figura 14), finalmente al correr el flujo de carga se puede observar las fases que llegan a la carga (ver figura 15).

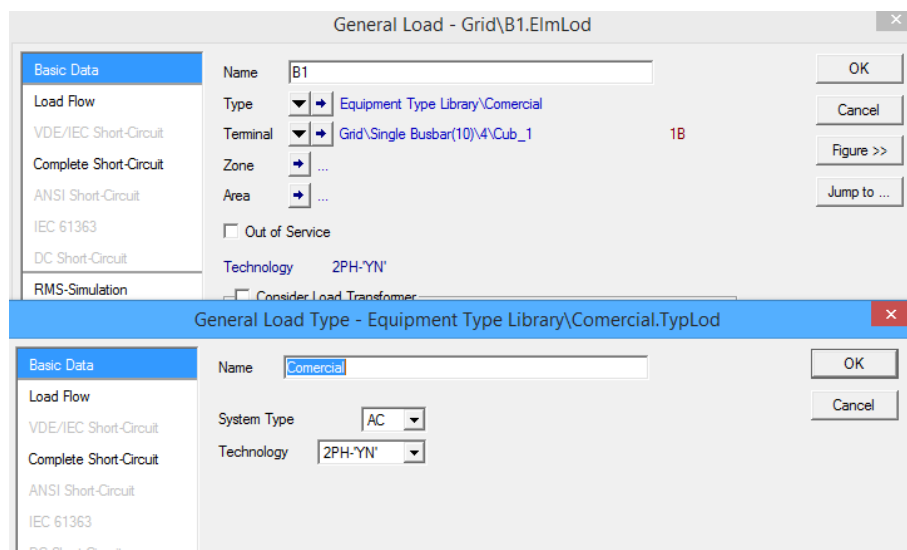


Figura 14. Selección de número de fases para la carga.

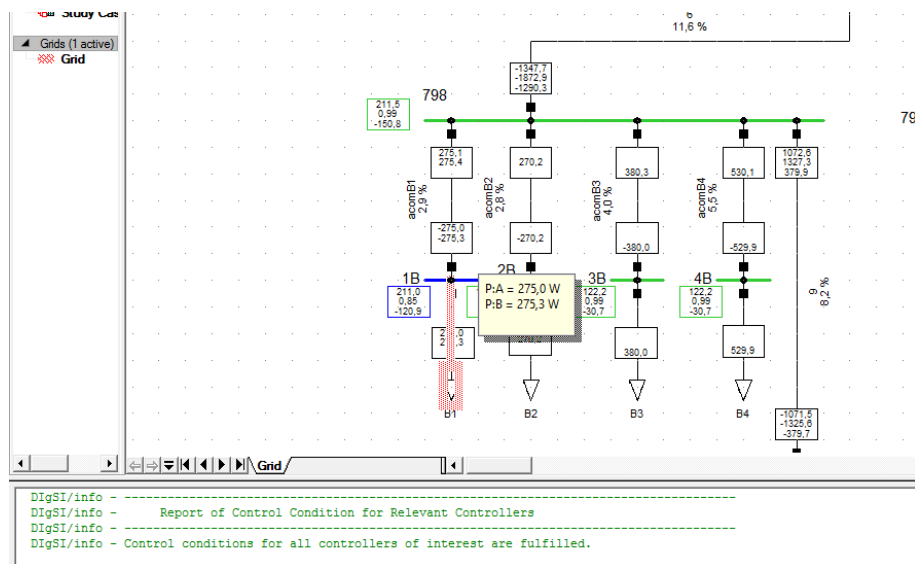


Figura 15. Asignación de fases a la carga al correr el flujo de carga.

3.1.2 Barras y terminales.

Power Factory posee un objeto para representar un nodo, este objeto es llamado "Terminal".

En Basic Data se elige el nombre de la barra o nodo, se puede poner en servicio o fuera de servicio marcando o no "Out of service", en la pestaña "System type", se elige corriente alterna (AC) o continua (DC), el tipo de secuencia y también la tensión a la que se encuentra el nodo.

Debe tenerse en cuenta que para el caso de baja tensión es común encontrar que por un tramo de línea solo vaya una o dos fases y el neutro, por lo tanto, debe tener coincidencia con la barra, es decir que, si solo va una fase y el neutro, la barra debe configurarse para una fase y el neutro, lo anterior se ilustra en la figura 16.

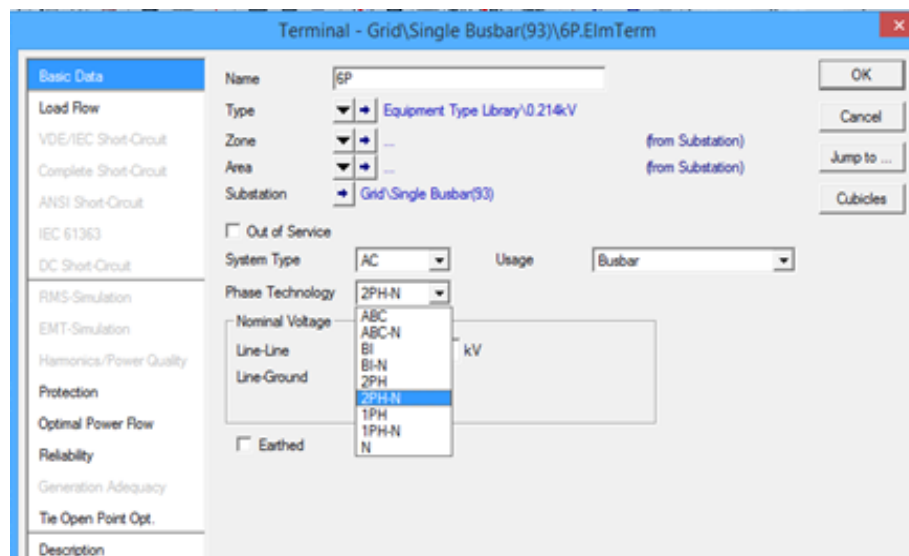


Figura 16. Configuración de terminales según el número de fases.

3.1.3 Líneas.

En la ventana de características de líneas se tiene el nombre, la longitud, si es aérea o enterrada, si es de parámetros distribuidos o concentrados, entre otros aspectos. Se usará sólo la pestaña "Basic data" para los cálculos necesarios en este proyecto en la que aparecen 3 desplegables (figura 17).

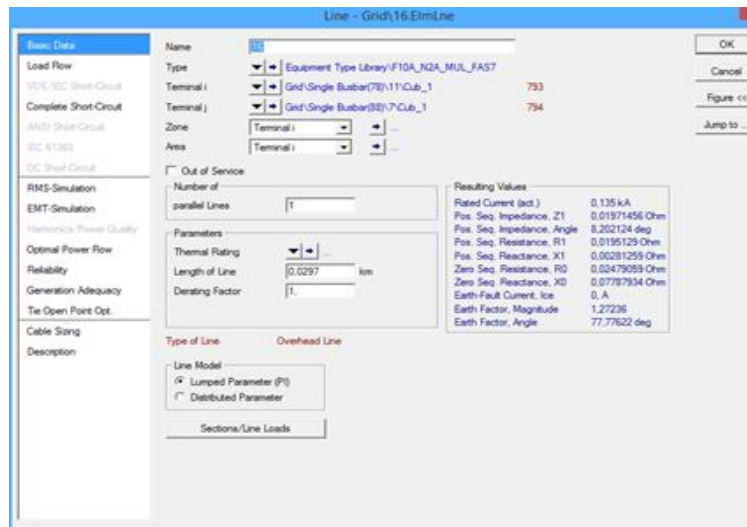


Figura 17. Ventana de características de las líneas.

En el botón de opciones “Type” se elige el tipo de línea de acuerdo con la librería que se tiene.

Para la creación de un tipo de línea se siguen los pasos mostrados en la figura 18, allí se ingresan todos los datos característicos del conductor e incluso el número de fases que lo componen. Se debe tener en cuenta que en caso de no contar con los datos de secuencia cero del conductor, el sistema asumirá que estos datos tienen igual valor que los de secuencia positiva ingresados, lo que implica que al ejecutarse el flujo de carga se obtengan datos de pérdidas de potencia en el sistema un tanto distintos a los obtenidos utilizando los datos completos del conductor.

Si ya se ha creado una librería de conductores y solo se ha de utilizar un tipo de línea creado anteriormente, deberá seleccionarse la opción “Select project type” y de allí elegir el conductor.

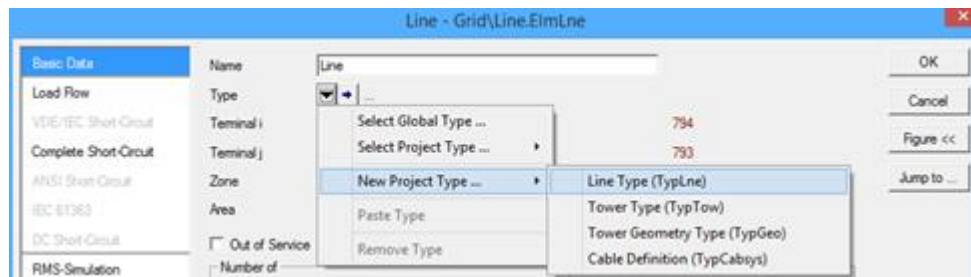


Figura 18. Creación de un tipo de línea.

Line Type - Equipment Type Library\F10A_N2A_MUL_FAS7.TypLine

Basic Data

Name: F10A_N2A_MUL_FAS7

Rated Voltage: 0.214 kV

Rated Current: 0.135 kA

Nominal Frequency: 60 Hz

Cable / OHL: Overhead Line

System Type: AC Phases: 3 Number of Neutrals: 1

Parameters per Length 1.2-Sequence

AC-Resistance R'(20°C): 0.657 Ohm/km

Reactance X': 0.164 Ohm/km

Parameters per Length Zero Sequence

AC-Resistance R0': 0 Ohm/km

Reactance X0': 0 Ohm/km

Parameters per Length, Neutral

AC-Resistance Rn': 1.04 Ohm/km

Reactance Xn': 0.1476 Ohm/km

Parameters per Length, Phase-Neutral Coupling

AC-Resistance Rpn': 0 Ohm/km

Reactance Xpn': 0 Ohm/km

Figura 19. Ingreso datos de línea.

La selección de las fases de la línea (AB, AC, ABC, etc.) depende a su vez de las barras (terminales), para configurarlo se ingresa a la línea y al seleccionar el “terminal i” tal como se muestra en la figura 20 podrá seleccionar las fases disponibles provenientes de la línea anterior (figura 21), la línea mostrada a modo de ejemplo tiene como elemento a continuación una carga, es por esto que en la figura 20 en el “terminal j” (esquema de la línea ubicado en la parte inferior de la figura) tiene predefinido las fases que recibirá, mostrando así que su configuración está dada para recibir solo dos fases y un neutro, y que recibirá las fases de conexión preestablecidas en la línea.

Line - Grid\acomB1.ElmLine

Basic Data

Name: acomB1

Type: Equipment Type Library\U_CU_FAS4.6

Terminal i: Grid/Single Busbar(0)\1\CuB_1

Terminal j: Grid/Single Busbar(10)\1\CuB_1

Zone: Terminal i

Area: Terminal i

Out of Service

Number of parallel Lines: 1

Parameters

Thermal Rating: 1

Length of Line: 0.007 km

Derating Factor: 1

Type of Line

Overhead Line

Resulting Values

Rated Current (act.)	0.08 kA
Pos. Seq. Impedance, Z1	0.01795993 Ohm
Pos. Seq. Impedance, Angle	3.821502 deg
Pos. Seq. Resistance, R1	0.01792 Ohm
Pos. Seq. Reactance, X1	0.001197 Ohm
Zero Seq. Resistance, R0	0 Ohm
Zero Seq. Reactance, X0	0 Ohm
Earth-Fault Current, Ice	0 A
Earth Factor, Magnitude	0.3333333
Earth Factor, Angle	180 deg

Schematic Diagram:

Terminal i: 1\CuB_1

Terminal j: 1\CuB_1

Figura 20. Configuración de la línea

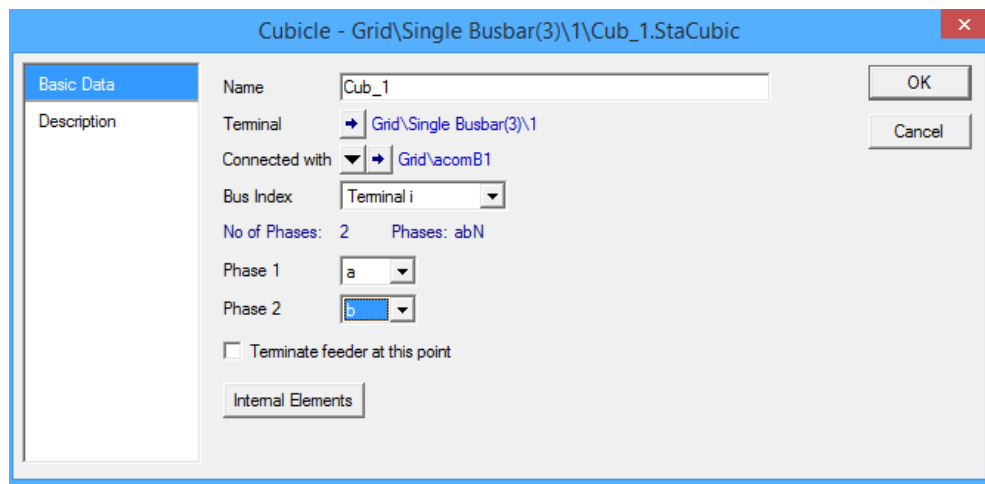


Figura 21. Selección del faseo de la línea.

Entre las cosas para tener en cuenta para evitar posibles errores se tiene que:

- Se debe tener en cuenta que la configuración del nodo de recibo debe estar acorde con el número de fases que lleve la línea, es decir que si la línea lleva dos fases el nodo deberá estar configurado para recibir no menos de dos fases, de lo contrario el sistema presentará errores al ejecutar el flujo de carga (figura 22).

```
DlgSI/err - 'Grid\Single Busbar(113)\1\Cub_1.StaCubic':
DlgSI/err - The no. of phases (3) of the element: 'Grid\acomA1.ElmLine' must be lower or equal than the no. of phases (2) of the terminal.
DlgSI/err - Error in load flow data!
DlgSI/info - Load flow calculation not executed.
DlgSI/err - last command leads to error(s), see output window!
```

Figura 22. Error al ejecutar el flujo de carga por incoherencias en faseo.

- Es necesario tener en cuenta que, para lograr correr flujos de carga balanceados, las líneas deben llevar las tres fases y el neutro, aunque solo una o dos de las fases se encuentren cargadas, de lo contrario si solo se lleva una fase a la carga el programa mostrará error y mostrará resultados solo de las cargas que reciben más de dos fases.

3.1.4 Transformador.

Estos elementos presentan la ventana de características que muestra la Figura 23. En la pestaña “Basic Data” se tienen tres menús desplegables: el primero para elegir el tipo de transformador de la librería, uno creado anteriormente en el proyecto o crear uno nuevo introduciendo los datos el usuario. Los dos últimos menús desplegables son para elegir la celda del terminal en el que irán los lados de alta y baja tensión del transformador.

Para crear un transformador se debe seleccionar el tipo, ya sea de la biblioteca del proyecto, de la biblioteca general o crear uno nuevo para ese caso específico. Ya seleccionado el tipo de transformador se debe especificar el ajuste de los taps, con la característica que para el secundario del transformador de potencial se puede seleccionar un tipo de la biblioteca o crear uno nuevo. En el secundario del transformador seleccionamos el tipo de conexión.

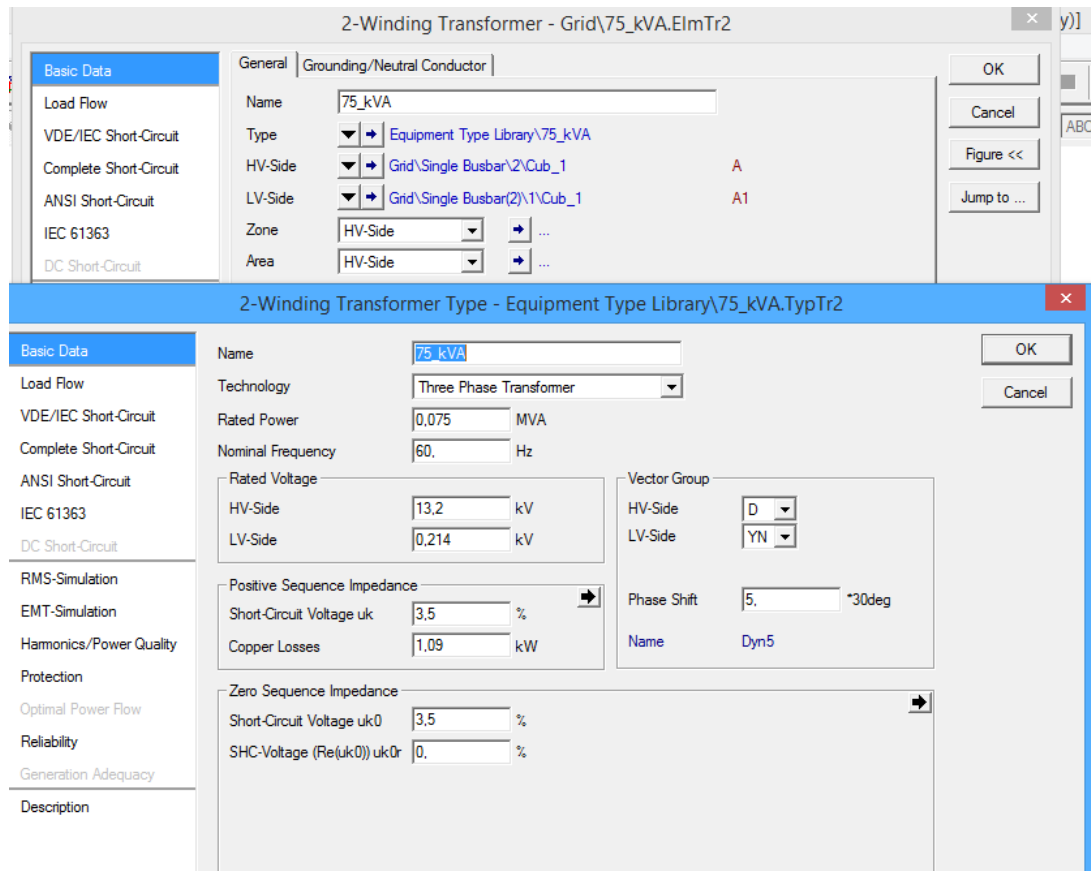



Figura 23. Ventana de características de los transformadores.

3.2 Cálculo de flujo de cargas.

Para realizar el cálculo del flujo de carga sin hacer uso del lenguaje de programación DPL, se tienen dos formas:

- Presionando el icono  de la barra de herramientas.
- Seleccionando en el menú principal “Calculation”, seguido de Load Flow.

Al elegir alguna de las opciones anteriormente mencionadas aparecerá la siguiente ventana (figura 24):

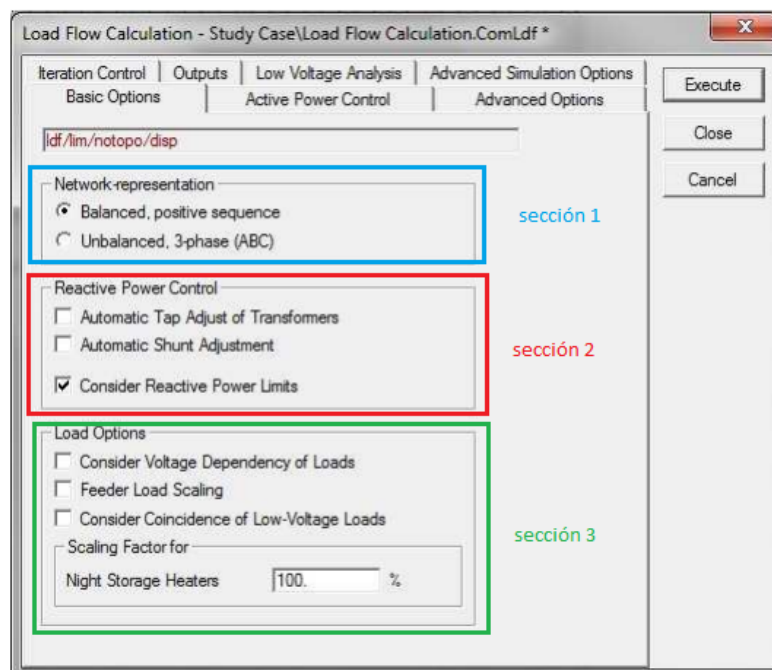



Figura 24. Ventana de cálculo del flujo de cargas.

Las opciones básicas que aparecen en esta ventana son las siguientes:

- **Representación de la Red:** Puede ser usada una representación monofásica de la red, válida para redes simétricas balanceadas o una representación trifásica completa de un sistema no balanceado.
- **Ajuste Automático de Taps de Transformadores:** Con esta opción deshabilitada, el ajuste de los Taps de los transformadores no será alterado.
- **Considerar Límites de Potencia Reactiva:** Los límites de potencia reactiva no son considerados deshabilitando esta opción. La función del Flujo de Carga del DlgSILENT siempre trata primero de encontrar una solución con los modelos matemáticos no lineales del sistema de potencia. Si tal solución no puede ser encontrada y esta opción es habilitada, un algoritmo adaptativo cambiará estos modelos haciéndolos lineales, hasta encontrar una solución. La adaptación de los modelos es reportada en la ventana de salida.
- **Considerar las Cargas Dependientes de la Tensión:** Deshabilitando esta opción hará que todas las cargas sean independientes de la tensión sin importar el ajuste individual de las cargas.

Para realizar el análisis de este proyecto se han marcado las opciones que se ven en la figura 24 presionando tras ello el botón “Execute”. A continuación, la ventana de salida informa sobre los resultados obtenidos: límites alcanzados, iteraciones del método de Newton-Raphson realizadas y si el flujo de cargas se ha realizado satisfactoriamente. En la ventana gráfica, los cuadros de resultados darán la información que se haya elegido.

3.3 Informes o report.

Para guardar o ver en forma de listado, se debe usar el icono  (Output calculation analysis) que se encuentra ubicado en la barra de herramientas (barra superior de la ventana de trabajo), al presionarlo aparecerá la ventana de la Figura 25 en la que se podrá elegir la información de interés.

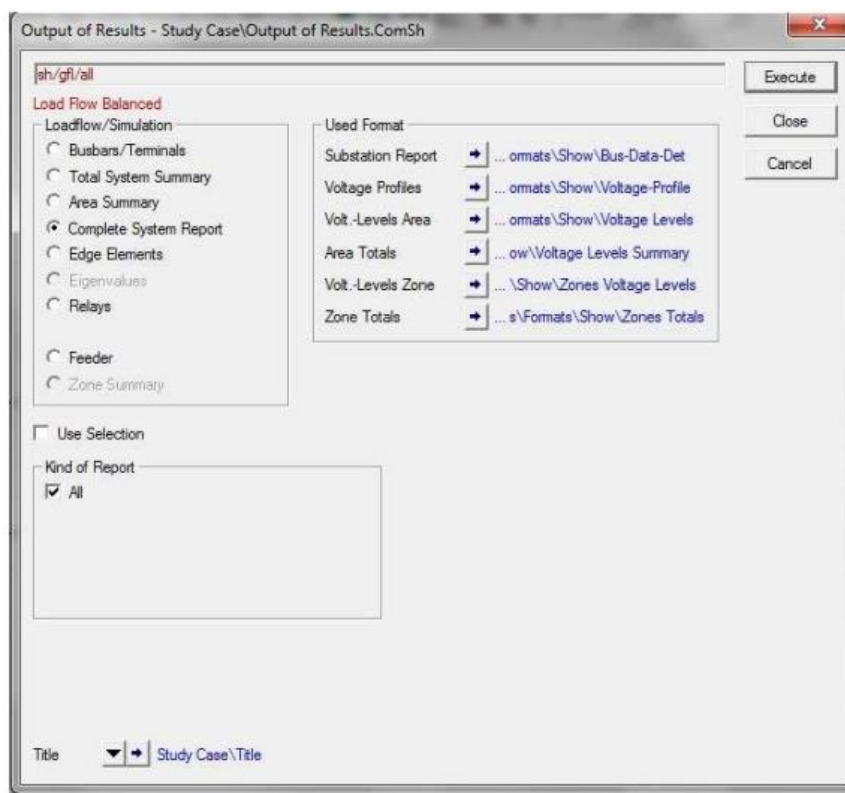
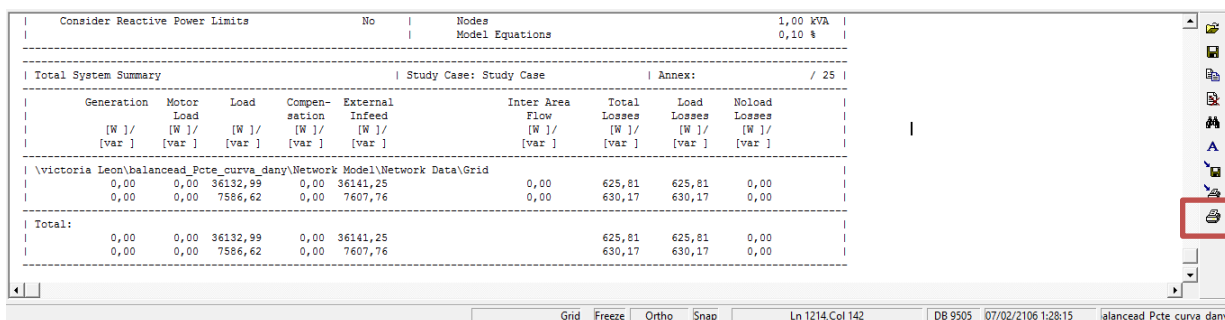


Figura 25. Ventana de obtención de informes.

Al dar clic en la opción “Execute”, aparecerá la ventana que se muestra en la figura 26 ubicada en la parte inferior del programa con todos los resultados (regulación, pérdidas del sistema, información de cargas y líneas, entre otros), al final del informe se podrá observar el reporte de pérdidas totales del sistema.

Toda esta información podrá ser observada en la ventana de resultados inferior del programa o también puede extraerse en formato PDF dando clic en el icono final encerrado en la figura 26 y posteriormente seleccionando en lugar de imprimir “convertir a PDF”.



Consider Reactive Power Limits		No	Nodes		1,00 kVA
			Model Equations		0,10 %
Total System Summary			Study Case: Study Case		Annex: / 25
Generation	Motor Load	Load	Compensation	External Infeed	Inter Area Flow
[W]/ [var]	[W]/ [var]	[W]/ [var]	[W]/ [var]	[W]/ [var]	[W]/ [var]
Total Losses	Load Losses	Noload Losses			
[W]/ [var]	[W]/ [var]	[W]/ [var]			
\\Victoria Leon\balancead_Pcte_curva_dany\Network Model\Network Data\Grid					
0,00	0,00	36132,99	0,00	36141,25	0,00
0,00	0,00	7586,62	0,00	7607,76	0,00
Total:					
0,00	0,00	36132,99	0,00	36141,25	0,00
0,00	0,00	7586,62	0,00	7607,76	0,00

Figura 26. Informe de flujo de cargas.

3.4 Programación en DPL

El lenguaje de programación DPL (DigSILENT Programming Language) tiene como propósito ofrecer una interfaz para tareas automáticas a realizarse en la herramienta computacional Power-Factory. Esta interfaz permite acceder a comandos y objetos que maneja DigSILENT, así como también acceder a funciones y variables creadas por el usuario.

DPL aumenta el alcance del programa DigSILENT permitiendo la creación de nuevas funciones de cálculo. Al igual que los comandos de cálculo definidos por el usuario éstos pueden ser utilizados en todas las aplicaciones de análisis del sistema de potencia como, por ejemplo: optimización de la red, análisis de estabilidad, confiabilidad, armónicos, coordinación de protecciones, etc. Las funciones de cálculo son estructuras algorítmicas en las que se utilizan comandos de flujo como if- then-else y do-while.

3.4.1 Cómo se diseña el comando DPL

El lenguaje de programación implementado en Digsilent permite agilizar las tareas a ejecutar, a modo de ejemplo en el presente proyecto se observa que al utilizar únicamente las herramientas de Digsilent solo puede ejecutarse un solo flujo de carga y que de querer observar los resultados hora a hora se deberá editar cada una de las cargas, convirtiéndose en una tarea dispendiosa.

El lenguaje de programación DPL realiza este tipo de tareas de una forma rápida, automática y eficiente, permitiendo el ingreso de la totalidad de los datos del flujo de carga hora a hora con su respectivo factor de potencia.

Para la creación del archivo DPL es importante tener el proyecto activado y que se ejecute correctamente.

A continuación, se muestran los pasos para la creación del archivo y las tablas necesarias para ejecutar correctamente el código DPL.

- En las figuras 27 y 28 se muestran los primeros pasos para la creación del archivo DPL, se debe dar clic sobre el proyecto y luego al aparecer en la tabla aledaña los archivos propios del proyecto, se debe dar clic derecho sobre la tabla y se continua con los pasos mostrados en las figuras.

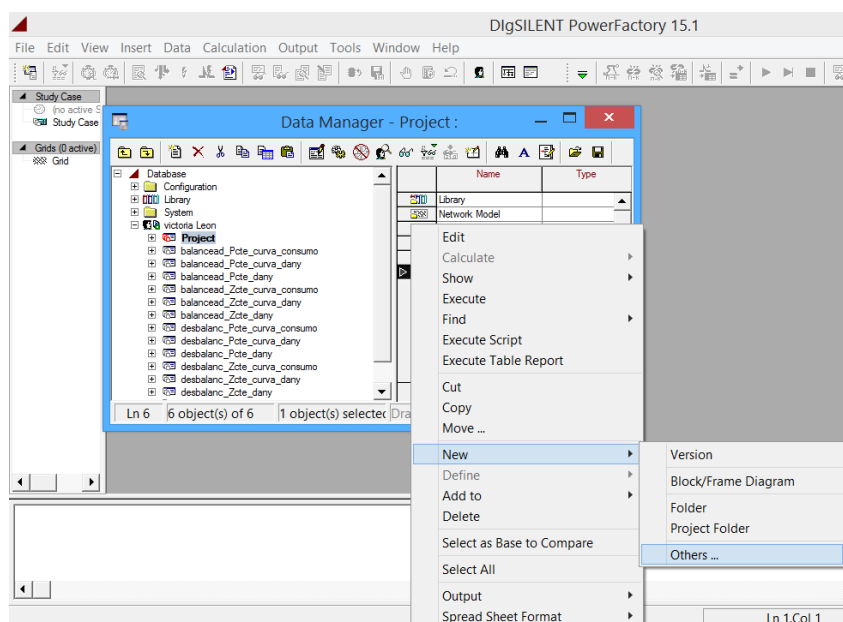


Figura 27. Pasos iniciales para la creación del archivo DPL.

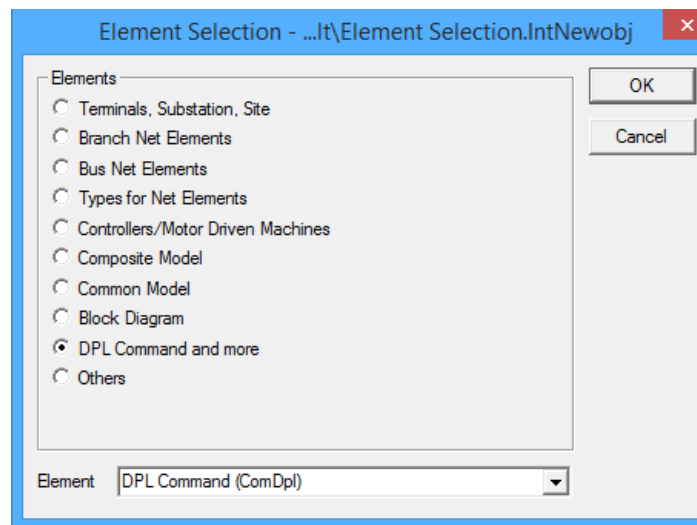


Figura 28. Selección del elemento a crear.

Al seleccionar la opción “DPL Command and more” aparece la ventana que se muestra en la figura 29, llamada “DPL Command”, donde se tiene acceso a la opción “Script”, que es donde se desarrolla el código del DPL.

El DPL considera todos los elementos que conforman el sistema mediante los diferentes comandos que los contienen como “oLine”, “oLoad”, “Comldf” para el flujo de carga, entre otros, y dichos comandos son empleados en el Script.

Dentro de la ventana del comando DPL se tiene los siguientes menús:

- Opciones Básicas: en este menú se puede tener acceso a los elementos u objetos de un caso de estudio o proyecto para poder utilizarlos en el comando DPL.
- Opciones Avanzadas: este menú permite el manejo de las variables de salida del comando DPL para ser utilizadas en otro comando DPL.
- Escrito: este menú es quizás el más importante de todos, ya que contiene el código del programa y permite la conexión con todos los elementos u objetos del comando DPL para la ejecución de este.
- Descripción: en este menú se puede realizar un resumen de las funciones que realiza el escrito DPL, lo cual hace más fácil la comprensión del comando DPL sin necesidad de afectar el desarrollo del programa.

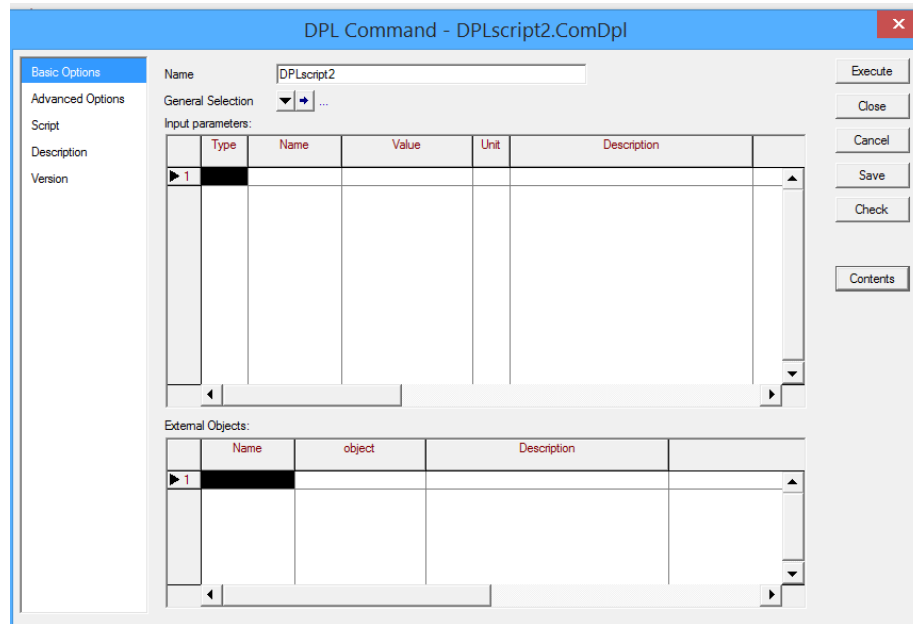


Figura 29. Ventana creada DPL command.

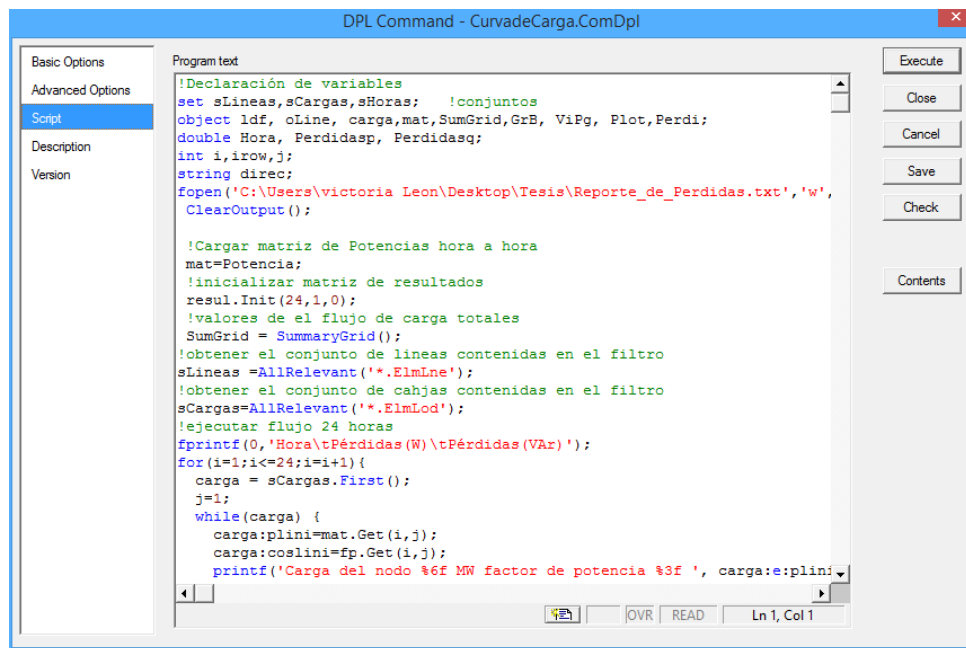


Figura 30. Script en DPL Command.

Luego se debe dar clic derecho sobre la tabla mostrada en la figura 29 y continuar con los pasos mostrados en las figuras 31 y 32, donde se crean las tablas para agregar los

valores de potencia y factor de potencia, y otra tabla en la que el programa escribe los resultados finales.

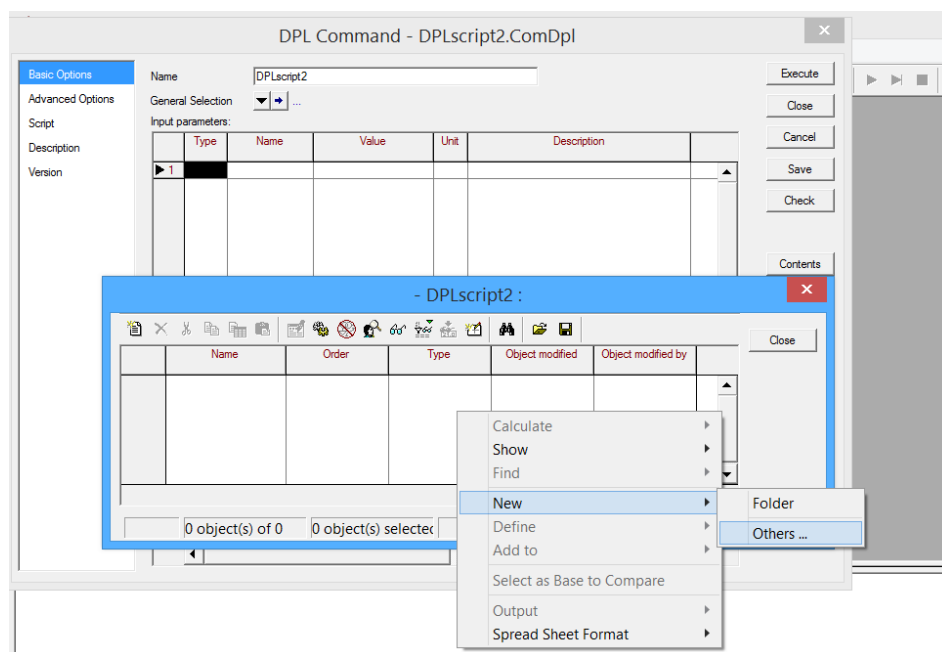


Figura 31. Creación de matrices para ingreso de datos de curva.

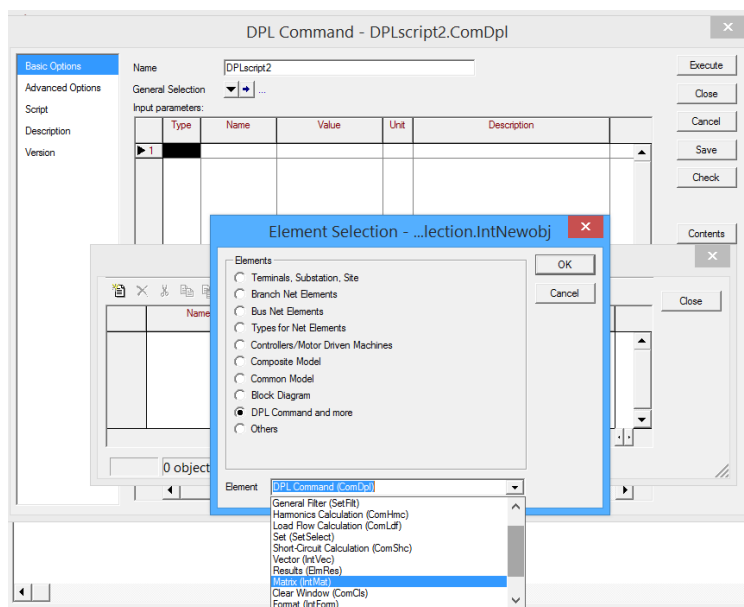


Figura 32. Selección de opción matrices para la creación de tablas.

Finalmente se configura el tamaño de las tablas como se muestra en la figura 32, insertando las filas y columnas necesarias para el ingreso de las curvas de carga de cada uno de los usuarios.

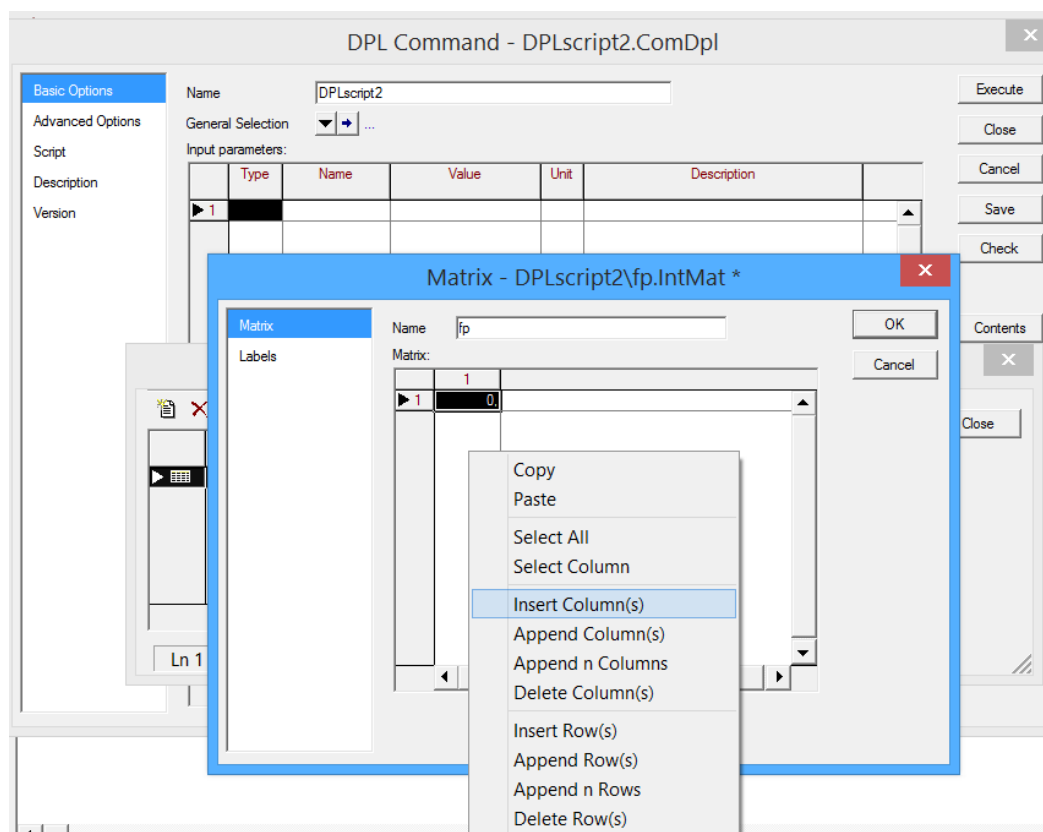


Figura 33. Ingreso de número de columnas y filas.

Para el presente caso se ingresa 92 columnas las cuales corresponden a las potencias asignadas hora a hora de cada carga y 24 filas para el orden de las 24 horas.

La figura 34 muestra las tablas utilizadas para el DPL del presente proyecto. La tabla "Potencia" contiene las potencias de las 92 cargas hora a hora, la tabla "fp" contiene los valores de factor de potencia para cada carga las 24 horas y finalmente la tabla "resul" es la tabla que utiliza el programa para escribir los resultados de pérdidas obtenidos.

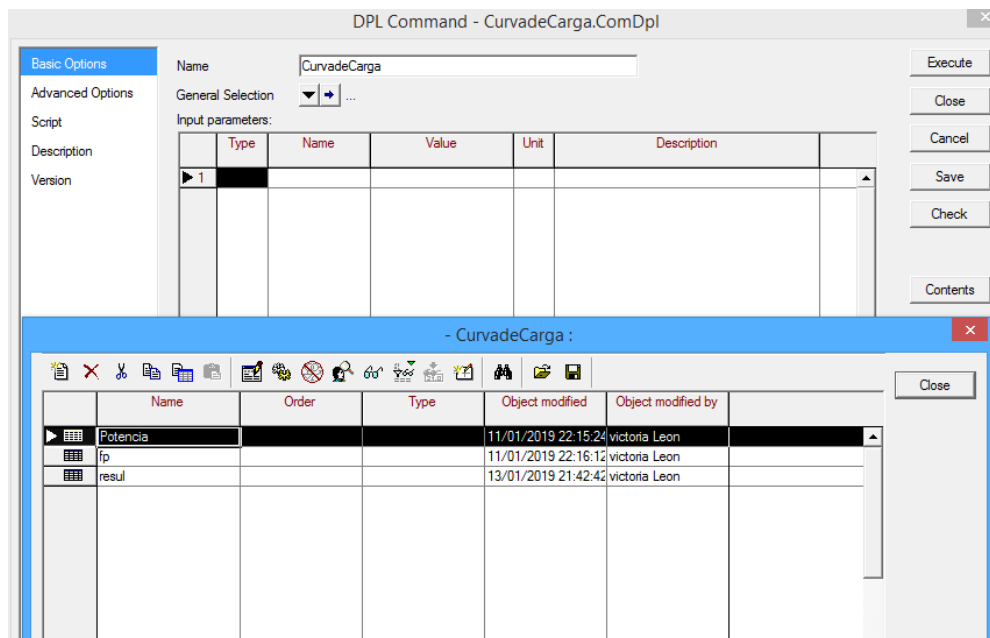


Figura 34. Tablas para las simulaciones ejecutadas durante el proyecto.

The screenshot shows the 'Matrix - CurvadeCarga\Potencia.IntMat *' window. The 'Name' field is set to 'Potencia'. The 'Matrix' table is displayed with the following data:

	1	2	3	4	5	6
1	0,000648	0,000472	0,000315	0,000303	0,000263	0,0
2	0,00062	0,000451	0,000301	0,000289	0,000252	0,0
3	0,000609	0,000444	0,000296	0,000285	0,000247	0,0
4	0,000623	0,000453	0,000302	0,000291	0,000253	0,0
5	0,000712	0,000518	0,000346	0,000332	0,000289	0,0
6	0,000827	0,000602	0,000402	0,000386	0,000336	0,0
7	0,000906	0,00066	0,00044	0,000423	0,000368	0,0
8	0,000936	0,000681	0,000454	0,000437	0,00038	0,0
9	0,000968	0,000705	0,00047	0,000452	0,000393	0,0
10	0,001049	0,000764	0,000509	0,00049	0,000426	0,0
11	0,001109	0,000808	0,000539	0,000518	0,00045	0,0
12	0,001075	0,000783	0,000522	0,000502	0,000437	0,0
13	0,001014	0,000739	0,000493	0,000474	0,000412	0,0

Figura 35. Tabla de potencia.

Se debe tener en cuenta que al correr el DPL el orden de las cargas puede variar ya que el programa cada vez que se cierra y se abre nuevamente, asigna de modo distinto el valor de potencia de la tabla del DPL a las cargas creadas en el sistema, entregando valores de pérdidas erróneos, para ello es necesario verificar el orden en que se tiene la asignación y la primera carga que se encuentre allí será la primera en la tabla del DPL y así sucesivamente.

Para verificar esto se debe ingresar al menú mostrado en la figura 36.

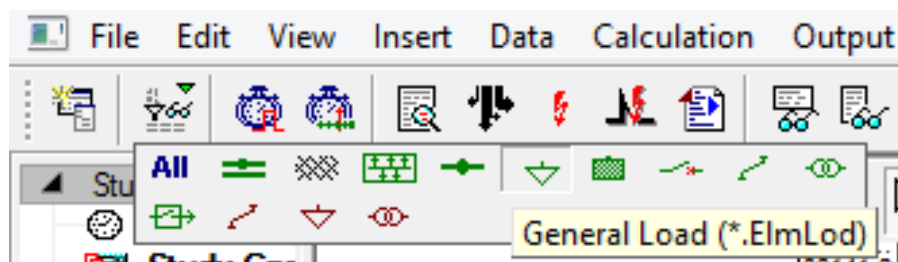


Figura 36. Menú para verificación de elementos.

Object Filter: *.ElmLod						
	Name	Show all Users	Type	Out of Service	Object modified	Object modified by
✓	L6		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:56 victoria Leon
✓	O6		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:55 victoria Leon
✓	L7		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:53 victoria Leon
✓	O1		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:53 victoria Leon
✓	A2		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:53 victoria Leon
✓	A1		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:53 victoria Leon
✓	A3		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:53 victoria Leon
✓	A4		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:53 victoria Leon
✓	A5		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:53 victoria Leon
✓	A6		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:53 victoria Leon
✓	A7		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:53 victoria Leon
✓	B1		Grid	Comercial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:53 victoria Leon
✓	B2		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:53 victoria Leon
✓	B3		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:53 victoria Leon
✓	B4		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:53 victoria Leon
✓	E1		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	E2		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	E3		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	E4		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	E5		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	C1		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	C2		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	C3		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	C4		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	D1		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	D2		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	D3		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	F1		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	F2		Grid	Comercial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	F3		Grid	Comercial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	F4		Grid	Comercial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	F5		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	G1		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	G2		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon
✓	G3		Grid	Residencial	<input type="checkbox"/>	23/10/2018 0:31:54 victoria Leon

Figura 37. Listado de orden de posicionamiento de las cargas.

En la figura 37 se observa que, aunque en la tabla del DPL se asume que debe estar la carga A1 en primer lugar, realmente debe estar la carga L6 y así como ésta, el resto de las cargas deben llevar ese orden indicado.

3.4.2 Comando DPL

El código DPL implementado para automatizar las pruebas realizadas se muestra a continuación:

```
!Declaración de variables

set sLineas,sCargas,sHoras; !conjuntos
object ldf, oLine, carga,mat,SumGrid,GrB, ViPg, Plot,Perdi;
double Hora, Perdidas, Perdidasq;
int i,irow,j;
string direc;
fopen('C:\Users\ victoria Leon\Desktop\Tesis\Reporte_de_Perdidas.txt','w',0);
ClearOutput();

!Cargar matriz de Potencias hora a hora
mat=Potencia;
!inicializar matriz de resultados
resul.Init(24,1,0);
!valores de el flujo de carga totales
SumGrid = SummaryGrid();
!obtener el conjunto de lineas contenidas en el filtro
sLineas =AllRelevant('*.ElmLne');
!obtener el conjunto de cahjas contenidas en el filtro
sCargas=AllRelevant('*.ElmLod');
!ejecutar flujo 24 horas
fprintf(0,'Hora\tPérdidas(W)\tPérdidas(VAr)');
for(i=1;i<=24;i=i+1){
    carga = sCargas.First();
    j=1;
    while(carga) {
        carga:plini=mat.Get(i,j);
        carga:coslini=fp.Get(i,j);
        printf('Carga del nodo %6f MW factor de potencia %3f ', carga:e:plini,carga:e:coslini);
        carga = sCargas.Next();
        j=j+1;
    }
    ldf = GetCaseObject('ComLdf');
    ldf.Execute();
}
```

! ir a través de cada linea y mostrar el nombre y la cargabilidad

```
oLine = sLineas.First();
while(oLine) {
!printf('Cargabilidad para %s: %6f %%', oLine:loc_name, oLine:c:loading);
    oLine = sLineas.Next();
}

printf('perdidas= %9.3f %%',SumGrid:c:LossP);
resul.Set(i,1,i);
resul.Set(i,2,SumGrid:c:LossP);
Hora=resul.Get(i,1);
Perdidasp=resul.Get(i,2);
resul.Set(i,3,SumGrid:c:LossQ);
Hora=resul.Get(i,1);
Perdidasq=resul.Get(i,3);
fprintf(0, '%.f\t%.4f\t%.4f\t', Hora, Perdidasp, Perdidasq);
}
fclose(0);
```

4. CASOS DE PRUEBA Y RESULTADOS

Para realizar el estudio se cuenta con una red de baja tensión con las siguientes características:

- Sistema radial.
- Transformador trifásico de 75 kVA 13200/214V.
- 24 nodos.
- 23 tramos de red más 92 acometidas.
- 92 usuarios de los cuales 10 son de tipo comercial y 82 residencial.
- Conductores multiplexados portadores de 1, 2 o 3 fases y conductor de neutro.

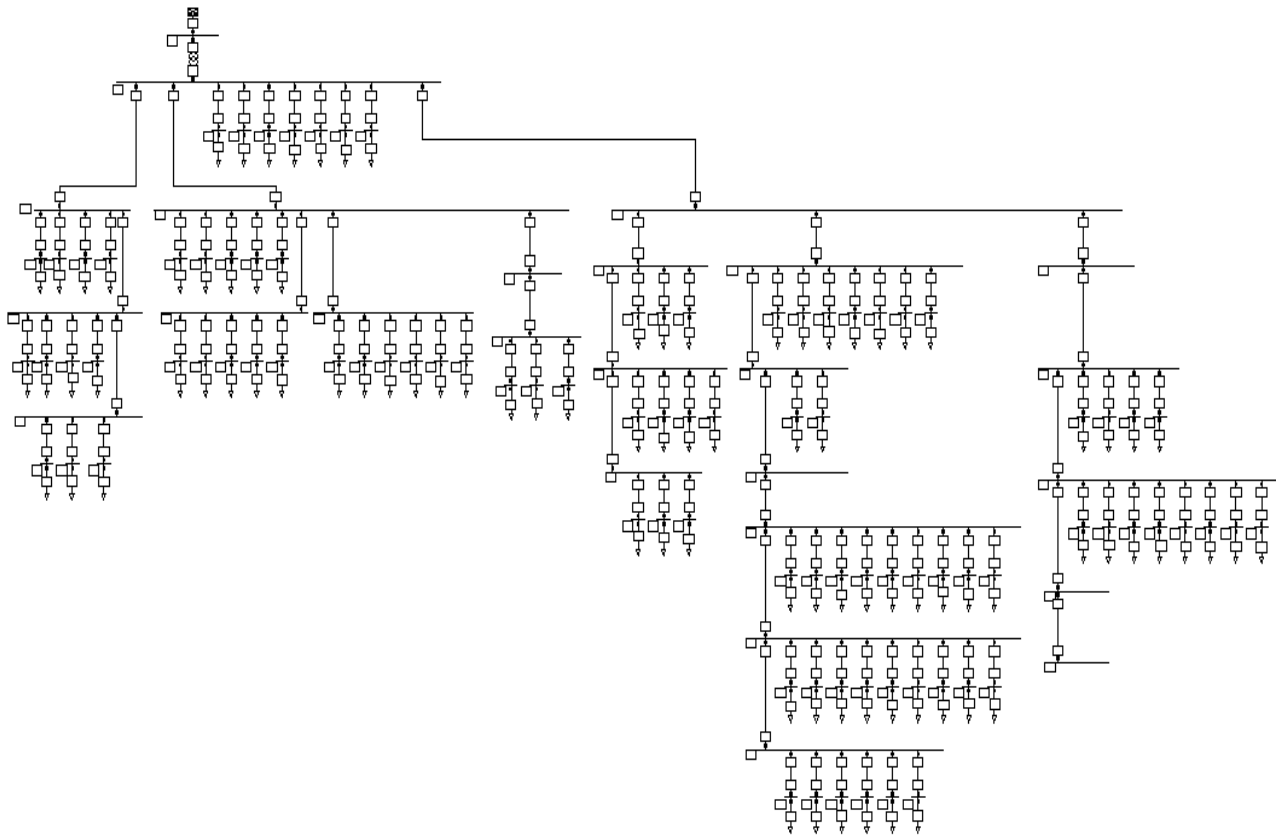


Figura 38. Sistema de prueba implementado.

En el sistema de la figura 38. Se implementarán una serie de pruebas que permitirán comparar y analizar las pérdidas técnicas producidas en el sistema en cada caso o condición a la que sea sometido.

Para realizar las pruebas se cuenta con una curva de carga horaria en cada punto de carga y su debido factor de potencia, sin embargo, debido a la gran cantidad de datos,

ésta se adjunta en un documento Excel con el nombre “curvas usadas y resultados”, allí también se encuentran las curvas de cargas resultantes obtenidas después de realizar las pruebas iniciales y luego de la debida repartición de carga según la facturación de cada usuario.

Algunos elementos que conforman el sistema presentan modificaciones según sea la prueba que se realice en el momento, estos elementos se listan a continuación y las indicaciones para realizar las modificaciones pertinentes se encuentran en la sección 3.1 del presente documento:

- Las Cargas: En ellas residen las modificaciones del modelo de carga que se utilice según sea el tipo de prueba a realizar, si es en potencia constante o impedancia constante, se indica cómo se realizó estas modificaciones en la sección 3.1.1 (apartado de cargas).
- El flujo de carga: Se deberá tener en cuenta que el DPL ejecutará el flujo de carga según las selecciones que se hayan realizado en el sistema como tal, por lo que, si se desea un flujo de carga balanceado o desbalanceado, deberá realizarse como se indica en la sección 3.2 (apartado de flujo de carga.)
- Curva de carga: Se debe tener en cuenta que para realizar las cuatro primeras pruebas (Bal_Pcte, Bal_Zcte, Desbal_Pcte y Desbal_Zcte) se usa una curva de carga horaria diferente a la implementada para la última prueba (Desbal_Zcte_Facturación), la creación de las matrices para ingresar estas curvas de carga al sistema se indica en la sección 3.4.1 (apartado de cómo se diseña el comando DPL).
- El transformador permanece con la misma configuración para todas las pruebas y la disposición de líneas y nodos varía si se corre el flujo de carga balanceado o desbalanceado. Ver sección 3.1.3 (apartado de líneas).

En las secciones que se muestran a continuación (4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5) se encuentran las pruebas realizadas con sus respectivos resultados.

4.1 Flujo de carga balanceado con modelo de carga en potencia constante

Para realizar esta prueba se elige la carga como balanceada, es decir que lo que ocurre en una fase, ocurre en las otras, y se asume que las potencias P y Q son constantes ante la variación de la tensión, mientras que la corriente en la carga disminuye con el aumento de la tensión, este modelo es una típica representación de la carga industrial que contiene gran cantidad de motores.

BAL PCTE			
Hora	Pérdidas(W)	Pérdidas (Var)	S (VA)
1	442,2945	465,0063	641,760
2	401,0671	424,2749	583,836
3	387,6223	410,1474	564,333
4	403,2753	427,9343	588,013
5	533,5548	561,8653	774,838
6	702,6722	755,9496	1032,089
7	850,0963	910,8567	1245,923
8	927,1642	976,766	1346,739
9	1010,6913	1051,1047	1458,190
10	1193,4632	1236,5379	1718,540
11	1330,7707	1384,0349	1920,027
12	1238,053	1295,7003	1792,098
13	1096,2679	1151,2874	1589,738
14	1011,9579	1061,6327	1466,671
15	1049,427	1090,1963	1513,217
16	1118,9344	1156,8765	1609,465
17	1131,9964	1183,5826	1637,768
18	1453,83	1529,2367	2110,021
19	2162,5128	2282,2261	3144,045
20	2053,0577	2180,3952	2994,857
21	1850,3821	1973,3613	2705,193
22	1444,5472	1550,7489	2119,325
23	955,8192	1030,7292	1405,700
24	625,8096	667,5745	915,037

Tabla 1. Resultado de pérdidas con modelo de carga de potencia constante y flujo de carga balanceado.

Para este caso de prueba la curva de carga es conocida en los usuarios (curva de carga base mostrada en el documento de Excel “curvas usadas y resultados” adjunto al presente documento), las cargas fueron clasificadas en dos tipos (residencial y comercial) las cuales fueron modeladas en potencia constante y finalmente para este caso el flujo de carga fue ejecutado balanceado y se obtuvo los resultados de pérdidas mostrados en la tabla 1.

4.2 Flujo de carga balanceado con modelo de carga en impedancia constante

Para realizar esta prueba se elige la carga como balanceada, es decir que lo que ocurre en una fase, ocurre en las otras, y se asume que la impedancia permanece constante, es

decir, la potencia varia con el cuadrado de la variación de tensión, este modelo es una típica representación de la carga residencial.

BAL ZCTE			
Hora	Pérdidas(W)	Pérdidas (Var)	S (VA)
1	407,2187	433,2143	594,560
2	370,8471	396,6794	543,030
3	358,8769	383,9038	525,523
4	372,9055	400,0885	546,927
5	487,4194	519,9668	712,701
6	634,9389	692,6589	939,640
7	760,2908	827,329	1123,617
8	824,1474	882,6109	1207,568
9	893,1842	944,9648	1300,283
10	1043,3826	1101,5449	1517,250
11	1155,5617	1225,6548	1684,504
12	1081,1628	1152,7237	1580,407
13	965,1619	1031,3381	1412,514
14	895,1406	954,9204	1308,873
15	925,5027	978,1576	1346,606
16	982,2913	1034,1144	1426,285
17	994,3615	1058,1441	1452,041
18	1255,5562	1347,3048	1841,644
19	1811,264	1959,1679	2668,148
20	1728,2218	1879,968	2553,631
21	1571,5558	1714,3867	2325,706
22	1251,2475	1369,9173	1855,342
23	850,2961	931,4618	1261,200
24	568,3677	614,3782	836,960

Tabla 2. Resultado de pérdidas con modelo de carga de impedancia constante y flujo de carga balanceado.

Para esta prueba la curva de carga es conocida en los usuarios, se utiliza la misma curva base que en el caso anterior, se encuentran clasificadas las cargas en comerciales y residenciales pero esta vez modeladas en impedancia constante y finalmente el flujo de carga es ejecutado balanceado. La tabla 2 permite observar los resultados obtenidos de pérdidas de potencia hora a hora que reporta el sistema para este caso (BAL ZCTE).

4.3 Flujo de carga desbalanceado con modelo de carga en potencia constante

Para esta prueba se elige la carga como desbalanceada, es decir, las tensiones y/o ángulos entre fases consecutivas no son iguales y se asume que las potencias P y Q son constantes ante la variación de la tensión, mientras que la corriente en la carga disminuye con el aumento de la tensión.

DESBAL PCTE			
Hora	Pérdidas(W)	Pérdidas (Var)	S (VA)
1	563,1944	509,687	759,585
2	510,7518	463,8625	689,953
3	494,5548	448,2913	667,495
4	516,3702	468,9196	697,513
5	684,9777	619,4621	923,541
6	932,3005	841,1306	1255,661
7	1124,8508	1016,3259	1515,984
8	1200,2985	1093,3601	1623,623
9	1290,3165	1176,2229	1745,972
10	1534,3056	1394,3682	2073,248
11	1731,6349	1568,5941	2336,460
12	1619,5178	1465,8978	2184,421
13	1431,1807	1294,9518	1930,072
14	1317,0425	1193,4881	1777,362
15	1355,4957	1228,9307	1829,656
16	1439,1211	1303,7931	1941,892
17	1471,1232	1335,2179	1986,708
18	1905,4197	1732,8223	2575,519
19	2969,4552	2650,0662	3980,014
20	2856,5423	2528,6998	3814,991
21	2582,9987	2279,3097	3444,871
22	2025,6092	1783,0887	2698,610
23	1340,6436	1175,2832	1782,867
24	831,0501	745,1852	1116,219

Tabla 3. Resultado de pérdidas con modelo de carga de potencia constante y flujo de carga desbalanceado.

Para este caso se utiliza la curva de carga horaria base mencionada en los dos casos anteriores, con dos tipos de carga únicamente (comercial y residencial), esta vez con un modelo de carga en potencia constante, finalmente el flujo de carga se ejecutó desbalanceado. Los resultados de pérdidas para este caso (DESBAL PCTE) se muestran en la tabla 3.

4.4 Flujo de carga desbalanceado con modelo de carga en impedancia constante

Para esta prueba se elige la carga como desbalanceada, es decir, las tensiones y/o ángulos entre fases consecutivas no son iguales, y se asume que la impedancia permanece constante, es decir, la potencia varía con el cuadrado de la variación de tensión.

DESBAL ZCTE			
Hora	Pérdidas(W)	Pérdidas (Var)	S (VA)
1	507,5683	466,7127	689,526
2	462,4734	426,544	629,143
3	448,4241	412,7512	609,465
4	467,208	430,9084	635,583
5	610,9876	562,1862	830,277
6	812,8611	750,6787	1106,464
7	968,7429	897,5978	1320,661
8	1032,8408	961,8669	1411,364
9	1107,8802	1030,4244	1513,001
10	1299,2328	1206,8452	1773,269
11	1449,6666	1345,3912	1977,779
12	1361,4739	1263,0225	1857,104
13	1215,214	1125,7897	1656,547
14	1125,1423	1042,8897	1534,133
15	1156,8827	1071,4105	1576,800
16	1224,1774	1132,7788	1667,872
17	1247,2784	1158,0923	1702,023
18	1580,1103	1475,8087	2162,119
19	2340,0415	2168,4156	3190,270
20	2252,9464	2075,9376	3063,541
21	2056,3976	1888,0939	2791,714
22	1647,4516	1505,8814	2231,989
23	1128,8107	1021,6988	1522,525
24	729,8296	668,4743	989,702

Tabla 4. Resultado de pérdidas con modelo de carga de impedancia constante y flujo de carga desbalanceado.

Finalmente, para este caso se cuenta con la misma curva de carga base implementada para los 3 casos anteriores, también cuenta con los tipos de carga comercial y residencial esta vez modelados en potencia constante y finalmente el flujo de carga se ejecutó

desbalanceado. Los resultados de pérdidas que reporta el sistema (DESBAL ZCTE) hora a hora se muestran en la tabla 4.

Los cuatro casos mencionados anteriormente son considerados como los 4 casos base del proyecto, los cuales contaron todos con la misma curva de carga horaria conocida en los usuarios, también se puede observar que se contó con dos tipos de carga, el tipo de carga comercial y el tipo residencial. De esto puede decirse que el modelo de carga implementado en cada caso y las condiciones del flujo de carga ejecutado (balanceado o desbalanceado) son los que determinan y diferencian cada caso de prueba a estudiar.

4.5 Flujo de carga desbalanceado con modelo de carga en impedancia constante con carga según facturación

Otro de los casos de prueba que hacen parte del presente estudio es el caso con modelo de carga en impedancia constante, desbalanceado y con repartición de carga según la facturación de cada usuario “DESB_ZCTE_FACTURACIÓN”.

Para realizar esta prueba se implementó una curva de carga la cual es resultado de realizar las pruebas para el caso “DESB ZCTE”, ya que de esta prueba se obtienen las potencias en la cabecera del circuito hora a hora al correr el flujo de carga y posteriormente se realiza la repartición de esta potencia de forma proporcional a los datos de facturación de cada uno de los usuarios, de este modo se cuenta entonces con una curva de carga diferente a la inicialmente implementada, dado que ésta es resultante de una curva de carga inicial la cual lleva consigo un cierto valor de pérdidas.

La obtención de la curva de carga en cabecera y el análisis de la prueba solo se realizó para este caso de impedancia constante (ZCTE) dadas las recomendaciones de la CREG para estudios de pérdidas.

En la tabla 6 se muestran los resultados de pérdidas obtenidos para el caso “DESB_ZCTE_FACTURACIÓN”.

DESBAL ZCTE_FACTURACIÓN			
Hora	Pérdidas(W)	Pérdidas (Var)	S (VA)
1	578,638	456,0567	736,756
2	532,5213	419,1618	677,699
3	515,9667	405,9185	656,499
4	537,2065	422,9281	683,710
5	690,6464	545,6599	880,192
6	913,3743	724,8018	1166,015
7	1081,5147	860,6959	1382,198
8	1146,7001	913,7064	1466,213

9	1220,87	973,7847	1561,659
10	1410,7778	1128,4741	1806,585
11	1562,51	1252,5046	2002,550
12	1475,7912	1181,5372	1890,500
13	1329,1458	1061,9207	1701,265
14	1235,0435	985,4033	1579,985
15	1261,3024	1006,6465	1613,760
16	1328,4927	1061,3442	1700,395
17	1360,8641	1087,852	1742,232
18	1709,3738	1374,3734	2193,368
19	2427,87	1967,6991	3125,123
20	2336,9369	1892,4298	3007,086
21	2144,764	1733,241	2757,560
22	1742,8018	1400,22	2235,615
23	1210,2949	965,255	1548,073
24	812,4814	643,5025	1036,447

Tabla 5. Resultado de pérdidas con modelo de carga de impedancia constante, flujo de carga desbalanceado y curva de carga obtenida de la repartición de potencia según la facturación de los usuarios.

4.6 Análisis de resultados

En la tabla 5 se establecen algunas comparaciones entre los resultados de los casos de prueba anteriormente expuestos, comparando únicamente los resultados de pérdidas obtenidos para la hora pico del sistema (hora 19).

Es necesario resaltar que estos resultados son comparables ya que para cada una de las pruebas se utilizó la misma curva de carga (curva de carga conocida en los usuarios) y que difiere entre ellas el modelo de carga utilizado y el flujo de carga ejecutado (desbalanceado o balanceado).

	COMPARACIÓN 1		COMPARACIÓN 2		COMPARACIÓN 3	
CASOS	BAL PCTE	BAL ZCTE	BAL PCTE	DESBAL PCTE	BAL ZCTE	DESBAL ZCTE
PÉRDIDAS (W)	2162,5128	1811,264	2162,5128	2969,4552	1811,264	2340,0415
DIFERENCIA %	16,24%		37,32%		29,19%	

Tabla 6. Comparación entre casos de prueba que consideran curva de carga conocida en los usuarios.

En el caso de prueba “DESB_ZCTE_FACTURACIÓN” se infiere la distribución de potencia para todo el circuito, es por esto que se obtienen unos resultados de pérdidas estimados, en la tabla 7 se realiza una comparación de los resultados de pérdidas obtenidos para la hora pico (hora 19) entre los casos “DESBAL ZCTE” y

“DESB_ZCTE_FACTURACIÓN” dado que son casos de prueba comparables que cuentan con las características indicadas por la CREG (son casos de prueba donde la carga se encuentra modelada en impedancia constante).

CASOS	DESBAL ZCTE	DESB_ZCTE_FACTURACIÓN
PÉRDIDAS (w)	2340,0415	2427,87
DIFERENCIA %	3,75%	

Tabla 7. Comparación entre resultados de pérdidas en la hora pico del caso DESBAL ZCTE y DESB_ZCTE_FACTURACIÓN.

4.7 Variante en ingreso de parámetros de las líneas

Durante las pruebas realizadas se ingresaron los datos de conductores tal como se muestra en la figura 23, allí se ingresó los valores de R y X de secuencia positiva y negativa de fase y neutro, para ejecutar el flujo de carga el sistema asume que los datos de secuencia cero son iguales a los ingresados para secuencia positiva y negativa, entregando al ejecutarse el flujo de carga los valores de pérdidas registrados.

El estudio se realiza de esta manera para 4 de los casos de prueba (BAL PCTE, BAL ZCTE, DESBAL PCTE y DESBAL ZCTE), pero esta vez ingresando la totalidad de los datos de las líneas con el objetivo observar las diferencias entre los resultados obtenidos, la tabla 8 contiene los resultados y porcentaje de diferencia entre ambos casos.

	P (W)				Q (Var)			
	Balanceado		Desbalanceado		Balanceado		Desbalanceado	
	Z cte	P cte	Z cte	P cte	Z cte	P cte	Z cte	P cte
Sin datos de Sec 0	1811,26	2162,51	2340,04	2969,46	1959,17	2282,23	2650,07	2168,42
Con datos de Sec 0	1844,84	2162,52	2343,17	2963,35	1945,21	2153,26	2487,84	2021,66
diferencia %	1,85%	0,00%	0,13%	0,21%	0,71%	5,65%	6,12%	6,77%

Tabla 8. Resultados de pérdidas para la hora 19 utilizando y sin utilizar los valores de secuencia cero en las líneas.

5. CONCLUSIONES

- En la tabla 5 se realizaron 3 comparaciones, principalmente donde el sistema tuvo variaciones en el modelo de la carga o en el flujo de carga (balanceado o desbalanceado):

De las tres comparaciones realizadas entre las pruebas obtenidas (tabla 5), el primer caso (BAL PCTE contra BAL ZCTE) es el que presenta la menor diferencia porcentual entre los resultados de pérdidas, esta diferencia aparece debido a que se usan dos modelos de carga diferentes (potencia constante e impedancia constante), con esto se demuestra la estabilidad en la información de las pérdidas obtenidas del sistema al correr el flujo de carga de modo balanceado y da una idea del impacto producido en el sistema por el modelo de carga.

De la comparación 2 que se muestra en la tabla 5 (BAL PCTE contra DESBAL PCTE) se concluye que es el caso más crítico para el sistema, ya que muestra importantes diferencias entre ambos casos, lo que implica que no pueda tomarse una decisión precisa ni predecirse el comportamiento del sistema cuando las cargas se encuentran modeladas en potencia constante, en esta comparación se observa claramente el efecto del desbalance del sistema en las pérdidas sumado al del modelo de carga en potencia constante.

La comparación 3 de la tabla 5 (BAL ZCTE contra DESBAL ZCTE) permite observar que al modelar las cargas en impedancia constante y correr el flujo de carga con el sistema balanceado o desbalanceado no se genera tanta incertidumbre, permitiendo tener una idea de cómo será el comportamiento del sistema independientemente del flujo de carga que se haya ejecutado.

De las comparaciones 2 y 3 que se encuentran en la tabla 5, se corrobora lo establecido por La CREG como organismo regulador de los servicios de electricidad y gas, la cual dice que los estudios de pérdidas de energía deberán realizarse bajo el modelo de impedancia constante, dado que al planear las medidas de reducción de pérdidas basado en estudios de pérdidas con modelo de carga de potencia constante se incurre en el sobredimensionamiento de las medidas operativas y por ende en el incremento de la inversión económica.

- En la tabla 7 se muestra la diferencia entre los resultados de pérdidas obtenidos cuando se implementa un caso donde es conocida la curva de carga en los usuarios (DESBAL ZCTE) y otro caso donde la curva de carga horaria se obtiene a partir de las potencias de cabecera reportadas por el caso DESBAL ZCTE y son repartidas en proporción a la facturación de cada usuario.

En este caso se comparan los resultados de pérdidas de un sistema donde todos los datos son conocidos con los resultados obtenidos de inferir a partir de ese caso inicial conocido.

En la tabla 7 también se observa que los resultados en la hora pico de ambos sistemas muestran similitud, con una diferencia pequeña entre ellos del 3,75%, ambos sistemas son comparables dado que presentan las mismas características en el modo del flujo de carga y el modelo de carga implementado (Z CTE a recomendación de la CREG).

De esto se observa que el método de inferencia es asertivo y que permite tomar decisiones adecuadas al tener un sistema del cual no se cuenta con la curva de carga en los usuarios, situación frecuente de las empresas de energía que generalmente no cuentan con esta información, ya que solo registran información de facturación de los usuarios, sin embargo, es necesario tener en cuenta que esta similitud se obtiene también debido al modelo de carga implementado.

También es necesario aclarar que cuando se obtienen las potencias de cabecera del circuito conocido (DESBAL ZCTE) y se realiza la repartición según la facturación de los usuarios para inferir la nueva curva de carga, ésta potencia de cabecera incluye la potencia de pérdidas del circuito, es por esto que al realizar la repartición, ejecutar el flujo de carga y obtener las pérdidas para el sistema “DESB_ZCTE_FACTURACIÓN” se están contando doblemente las pérdidas de sistema, situación que llega a ser determinante si se necesita desarrollar medidas operativas o si se desea desarrollar la misma metodología para un sistema con un modelo de carga en potencia constante.

- Los resultados de pérdidas en el modelo de potencia constante respecto a los obtenidos en el modelo de impedancia constante son superiores, sin embargo, al momento de planear medidas operativas que hagan frente a las pérdidas técnicas del sistema se debe considerar los resultados de pérdidas con el modelo de impedancia constante, ya que este modelo se ajusta adecuadamente a la naturaleza de las cargas que componen el sistema de potencia, por el contrario, con el modelo de carga de potencia constante se incurre en el sobredimensionamiento de las medidas operativas y por ende en el incremento de la inversión económica.
- A partir de los datos que recolectan normalmente las empresas distribuidoras de energía de consumo de los usuarios, es posible realizar estudios de flujo de carga para conocer el valor de las pérdidas para ejecutar estudios sobre estas y así

mejorar las deficiencias operativas que ocasionan mayores costos, tanto para los usuarios como para las empresas de distribución.

- En la tabla 8. se observan los resultados de pérdidas cuando no se tienen los datos completos de los conductores y cuando se cuenta con la totalidad de ellos, la diferencia que existe entre ambos casos se ve reflejada mayoritariamente en las pérdidas de potencia reactiva y con diferencias no muy grandes, teniendo en cuenta que la naturaleza de las cargas es residencial y comercial, toma mayor relevancia la evaluación de las pérdidas en potencia activa, lo que permite tomar como válidos los resultados de las pruebas realizadas inicialmente ya que son aproximados a los resultados obtenidos con los datos completos, permitiendo concluir que el impacto producido por la deficiencia de esta información no presenta implicaciones trascendentales para el estudio de pérdidas, ya que como se muestra en el porcentaje de diferencia entre ambos casos presentado en la tabla 8 existe una diferencia muy pequeña entre ambos resultados.

6. ANEXO

Todos los valores de las cargas a ingresar y los cálculos realizados para el presente documento se encuentran adjuntos en un documento Excel que tiene el nombre de “CURVAS DE CARGAS Y RESULTADOS”, donde la hoja 1 recibe el nombre de “datos base”, la cual contiene la curva de carga inicial para las cuatro primeras pruebas (BAL PCTE, BAL ZCTE, DESBAL PCTE y DESBAL ZCTE), esta curva de carga contiene los valores de carga en MW para las 24 horas de las 92 cargas que comprende el sistema de prueba y también contiene los respectivos factores de potencia.

En esta misma hoja encontrará la potencia de cabecera obtenida del caso “DESB ZCTE” de las 24 horas, potencias que permitirán junto a la facturación reportada por los usuarios realizar la repartición de potencia para así obtener la curva de carga necesaria para el caso de estudio “DESB_ZCTE_FACTURACIÓN”, curva de carga que también encontrará en esta misma hoja.

En la hoja “W_consum_curvas (cálculos)” del mismo documento, se encuentra el cálculo realizado para obtener la curva de carga horaria resultante para el caso de prueba “DESB_ZCTE_FACTURACIÓN” y finalmente en la hoja “RESULTADOS DE PÉRDIDAS” se encuentran los resultados obtenidos de pérdidas para los 5 casos de prueba expuestos en el capítulo 4 del presente documento.

También se encuentran adjuntos a este trabajo de grado 10 documentos en formato pdf, los cuales contienen las simulaciones realizadas en el software DigSilent para las 5 pruebas mencionadas en el capítulo 4. El documento pdf que recibe el nombre de “balancead_Pcte_curva.pdf” pertenece a la prueba mencionada en la sección 4.1 (BAL PCTE), el documento pdf que recibe el nombre de “balancead_Zcte_curva” pertenece a la prueba mencionada en la sección 4.2 (BAL ZCTE), el documento pdf que recibe el nombre de “desbalanc_Pcte_curva” pertenece a la prueba mencionada en la sección 4.3 (DESBAL PCTE), el documento pdf que recibe el nombre de “desbalanc_Zcte_curva” pertenece a la prueba mencionada en la sección 4.4 (DESBAL ZCTE), y el documento pdf que recibe el nombre de “desbalanc_Zcte_curva_factur” pertenece a la prueba mencionada en la sección 4.5 (DESBAL ZCTE FACTURACIÓN).

Es necesario aclarar que los archivos pdf anteriormente mencionados, contienen la curva de carga y el archivo DPL a ejecutar, aquellos archivos con el mismo nombre, pero sin la palabra “curva” contienen solo el flujo de carga para la hora pico (hora 19) de la misma prueba a la que pertenece la prueba semejante mencionada (balancead_Pcte, balancead_Zcte, desbalanc_Pcte, desbalanc_Zcte, desbalanc_Zcte_factur).

BIBLIOGRAFÍA

- [1]D. Romero López y A. Vargas Rojas, “Modelo de incentivos para la reducción de pérdidas de energía eléctrica en Colombia”, Trabajo de grado, Universidad Javeriana, Bogotá, 2010.
- [2]Resolución CREG 097 de 2008. [en línea], disponible en: <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/d1db6c9018b37ce0525785a007a709b?OpenDocument>.
- [3]V.M. Rodríguez Ferrero, “Protecciones eléctricas en DigSILENT PowerFactory”, Trabajo de grado, Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2012.
- [4]Capítulo 3 DigSILENT PROGRAMMING LANGUAGE-DPL. [en línea], disponible en: https://www.academia.edu/31761474/CAPITULO_3_DigSILENT_PROGRAMMING_LANGUAGE_-DPL.
- [5]RAMIREZ CASTAÑO, Samuel. Redes de distribución de energia. Manizales, Universidad Nacional de Manizales, Manizales, 2015.
- [6]PowerFactory Applications. [en línea], disponible en: <https://www.digsilent.de/en/powerfactory.html>.
- [7]J. Martínez y A. Zerpa, “Proyecto de optimización técnica y económica del sistema eléctrico de distribución en media y baja tensión de la comunidad San Agustín (Caso: C.A. ELEVAL)”, Trabajo de grado, Universidad de Carabobo, Valencia, 2007.
- [8]PowerFactory Applications. [en línea], disponible en: <https://www.digsilent.de/en/powerfactory.html>.
- [9]E. Rodríguez Chamorro, “Análisis del desequilibrio en redes de distribución de baja tensión”, Trabajo de grado, Universidad de Sevilla, Sevilla, 2015.
- [10]B. Karlsson , “Comparison of PSSE & PowerFactory”, Trabajo de grado, Universidad de Upsala, Suecia, 2013.